



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

Agricultura de precisió basada en drons. Anàlisi de la fumigació, i altres aplicacions

Memòria del Treball Fi de Grau

en Gestió Aeronàutica

realitzat per

Lluís Medir Llorens

i dirigit per

Romualdo Moreno Ortiz

Escola d'Enginyeria

Sabadell, 2 de juliol de 2020

[El/La] sotasignat, **Romualdo Moreno Ortiz**,
professor[/a] de l'Escola d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball al que correspon la present memòria ha estat realitzat
sota la seva direcció per **Lluís Medir Llorens**,
I per a que consti firma la present.

Signat: **Romualdo Moreno Ortiz**,

Sabadell, 2 de juliol de 2020

FULL DE RESUM – TREBALL FI DE GRAU DE L'ESCOLA D'ENGINYERIA

Títol del Treball Fi de Grau: Agricultura de precisió basada en drons. Anàlisi de la fumigació, i altres aplicacions.	
Autor[a]: Lluís Medir Llorens	Data: juliol 2020
Tutor[a]/s[es]: Romualdo Moreno Ortiz	
Titulació: Gestió Aeronàutica	
Paraules clau (mínim 3) <ul style="list-style-type: none">• Català: RPAS, agricultura de precisió, agricultura tradicional, model, empresa.• Castellà: RPAS, agricultura de precisión, agricultura tradicional, modelo, empresa.• Anglès: RPAS, precision farming, traditional agriculture, model, company.	
Resum del Treball Fi de Grau (extensió màxima 100 paraules) <ul style="list-style-type: none">• Català: En aquest projecte es vol dur a terme un anàlisi de les aplicacions dels RPAS a l'agricultura, tractant principalment el procés de fumigació. Per a realitzar-lo, es compararà els procediments utilitzats en el mètode tradicional de fumigació amb els procediments que es realitzarien amb drons. D'aquesta manera, mitjançant l'anàlisi de paràmetres com el temps d'operació, el cost, la qualitat del producte, etc, s'avaluaran quins són els avantatges i inconvenients de cada tecnologia. Finalment, per dur a terme la comparació i l'anàlisi, el treball presenta les característiques principals d'una empresa (fictícia) de operació amb RPAS que inclourà la fumigació a la seva carta de serveis.• Castellà: En este proyecto se realizará un análisis de las aplicaciones de los RPAS en la agricultura, analizando principalmente el proceso de fumigación. Para realizarlo, se comparará los procedimientos utilizados en el método tradicional de fumigación con los procedimientos que se realizarían con drones. De esta manera, mediante el análisis de parámetros como el tiempo de operación, el coste, la calidad del producto, etc, se podrán evaluar las ventajas y las desventajas de cada tecnología. Finalmente, para realizar la comparación y el análisis, el trabajo presenta las características principales de una empresa (ficticia) de operación de RPAS que incluiría la fumigación en su carta de servicios.• Anglès: In this project we are going to analyse the applications of RPAS in agriculture, focusing on the analysis of the fumigation process. In order to do it, we are going to do a comparison between the procedures used in the traditional fumigation method and the procedures that would be carried out with drones in the fumigation process. Furthermore, by analysing parameters such as operating time, cost, product quality, among others, we will be able to evaluate the advantages and disadvantages of each technology. Finally, in order to carry out this comparison and analysis, it is important to say that we will show in this project the main characteristics of a RPAS company (fictitious) that will include the fumigation process as a service.	

Índex

1. Introducció	11
1.1. Resum executiu.....	11
1.2. Objectius	13
1.3. Organització de la memòria	14
2. Introducció als RPAS	16
2.1. Què són?.....	16
2.2. Components	17
2.2.1. Subsistema mecànic.....	17
2.2.2. Subsistema de propulsió	18
2.2.3. Subsistema de control.....	18
2.2.4. Subsistema d'alimentació	19
2.2.5. Sistemes de llançament i recuperació	19
2.2.6. Estació de control	20
2.3. Història.....	21
2.4. Classificació.....	24
2.4.1. Classificació segons el mètode de generació de sustentació	24
2.4.2. Classificació segons el nivell d'autonomia i relació amb el factor humà	27
2.5. Usos i aplicacions	29
2.5.1. RPAS civils.....	29
2.5.2. RPAS militars.....	29
3. Normativa dels RPAS	30
3.1. Decret 1036/2017.....	31
3.1.1. Aspectes generals	31
3.1.2. Àmbit d'aplicació	31
3.1.3. Condicions d'ús del espai aeri per als RPAS	32
3.1.4. Limitacions	33
4. Agricultura precisió vs agricultura tradicional.....	35
4.1. Fumigació o aplicació de fitosanitaris mitjançant agricultura tradicional.....	35
4.1.1. Tècniques de fumigació.....	36
4.1.2. Fumigació amb tractor o màquina fumigadora.....	37
4.2. Agricultura de precisió.....	39
4.2.1. Etapes de l'agricultura de precisió.....	39

5. Estat del mercat	41
6. Agrodrona.....	43
6.1. Qui som?.....	43
6.2. Objectius de l'empresa.....	44
6.3. Característiques dels possibles clients	46
7. Serveis a oferir	48
7.1. Disseny del RPAS.....	48
7.2. Procés de planificació	52
7.2.1. Planificació del recorregut.....	52
7.2.2. Planificació del nombre de RPA necessaris	61
7.3. Procés de fumigació.....	63
7.4. Anàlisi del temps d'operació	69
7.4.1. Temps del RPA.....	69
7.4.2. Temps de la màquina fumigadora tradicional	85
7.4.3. Comparació del temps	89
7.5. Preu	92
7.5.1. Inversió inicial i cost.....	92
7.5.2. Preu del servei amb RPAS.....	94
7.5.3. Preu del servei amb fumigadora de barra	95
7.5.4. Comparació del preu.....	96
7.6. Anàlisi de les conseqüències sobre el medi ambient	98
7.7. Anàlisi de les conseqüències sobre la salut humana.....	100
8. Altres tècniques agrícoles a realitzar amb RPAS	101
9. Conclusions	104
10. Bibliografia.....	108

Índex d'il·lustracions:

Fig. 1. Frame d'un RPAS d'ala fixa.

Fig. 2. Frame d'un quadcòpter.

Fig. 3. Sistema de llançament d'un RPAS d'ala fixa.

Fig. 4. Estació de control mòbil terrestre per a RPAS.

Fig. 5. Avió i estació de control desenvolupats per Samuel P. Langley.

Fig. 6. Avió Kettering Bug usat com a explosiu.

Fig. 7. Classificació dels RPAS.

Fig. 8. RPAS d'ala fixa alta.

Fig. 9. RPAS d'ala fixa mitja.

Fig. 10. RPAS d'ala fixa baixa.

Fig. 11. RPAS d'ala fixa baixa.

Fig. 12. Multirotors segons el nombre de rotors i col·locació.

Fig. 13. RPAS híbrid (VTOL).

Fig. 14. Fumigació amb avio.

Fig. 15. Fumigació amb màquina de barra.

Fig. 16. Fumigació amb turbina hidràulica.

Fig. 17. Màquina fumigadora suspesa Hardi.

Fig. 18. Màquina fumigadora arrastrada Hard.

Fig. 19. Màquina fumigadora autopropulsada Hardi.

Fig. 20. Màquina fumigadora turboatomitzadora AMP.

Fig. 21. Objectius d'Agrodrone.

Fig. 22. Distribució de les hectàrees per tipus de conreu i territori a Catalunya.

Fig. 23. RPAS DJI Agras T16.

Fig. 24. Sistema propulsió de DJI Agras T16.

Fig. 25. Procés de fumigació en "S".

Fig. 26. Exemple 1 de planificació de recorregut.

Fig. 27. Exemple 2 de planificació de recorregut.

Fig. 28. Exemple de planificació amb impediments.

Fig. 29. RPA DJI Phantom 4 RTK.

Fig. 30. Exemple del procediment de planificació.

Fig. 31. DJI Phantom 4 Multispectral.

Fig. 32. Imatges reals (RGB) vs imatges de l'índex de vegetació (NDVI).

Fig. 33. Anàlisi del camp per sectors o zones.

Fig. 34. Taula del nombre de RPA necessaris.

Fig. 35. Circuit d'aire creat per el RPA.

Fig. 36. Pèrdua per deriva d'una màquina fumigadora de barra.

Fig. 37. Marca de les rodes del tractor que provoquen una pèrdua de la collita.

Fig. 38. Situació 1.

Fig. 39. Situació 2.

Fig. 40. Pitjor situació.

Fig. 41. Cicle de canvis de bateries.

Fig. 42. Recorregut de l'operació.

Fig. 43. Distància final.

Fig. 44. Carrils creats per les rodes del tractor.

Fig. 45. Procés de sembra amb RPAS.

Nomenclatures:

FIZ: Flight information zone (Zona d'informació de vol).

RPAS: Remotely Piloted Aircraft Systems.

RPA: Remotely Piloted Aircraft.

UAV: Unmanned Aerial Vehicle.

UA: Unmanned Aircraft.

UAS: Unmanned Aerial System.

RD 1036/2017: Real Decret 1036/2017.

EASA: Agencia Europea de Seguretat Aèria.

AESA: Agencia Estatal de Seguretat Aèria.

MTOW: Maximum take off weight (pes màxim a l'enlairament).

MTOM: Maximum take off mass (massa màxima a l'enlairament)

VLOS: Visual line of sight (Operacions dins de l'abast visual).

EVLOS: Extended visual line of sight (Operacions dins de l'abast visual augmentat).

BVLOS: Beyond visual line of sight (Operacions més enllà de l'abast visual del pilot).

ESC: Electronic speed control.

GPS: Global positioning System.

FPV: First Person View.

OACI: Organització d'aviació Civil Internacional.

TSA: Espai aeri temporalment segregat.

IMU: Unitat de medició inercial.

GNSS: Global Navigation Satellite System.

RTK: Real Time Kinematic.

1. Introducció

1.1. Resum executiu

En aquests últims anys, el sector de les aeronaus pilotades per control remot s'ha anat desenvolupant en gran mesura, aportant un gran nombre de millores tecnològiques en diversos sectors. Abandonant per complet el seu ús exclusiu en l'àmbit militar per entrar en el món civil, actualment ofereix nombroses aplicacions cada cop més utilitzades pels professionals de diversos sectors. Aquest desenvolupament i creixement juntament amb l'ampliació de les seves aplicacions ha estat possible gràcies a l'abaratiment del cost de les aeronaus i a l'ús de nous components, augmentant així l'eficiència d'aquests sistemes.

Encara que es tracta d'una tecnologia relativament jove que no està del tot establerta i on la normativa encara és bastant limitada, gràcies a aquest sistema s'està desenvolupant un gran nombre d'usos civils on la majoria d'ells estan en relació amb la seguretat o la cartografia. El que es busca mitjançant aquest nou sistema és diversificar els seus usos i penetrar en aquells nínxols de mercat més prometedors. Tot i això, en aquest treball es tractarà un dels àmbits més poc desenvolupats amb relació amb el sistema RPA: l'agricultura. D'aquesta manera, s'aconseguirà unir mons que a priori semblen estar separats anys llum, el món aeronàutic i l'agrícola.

L'agricultura, tot i que ha anat evolucionant tecnològicament al llarg dels anys en gran mesura, sempre ha sigut un dels sectors més poc automatitzats, on les tasques a realitzar eren llargues i dures i on la mà d'obra ha tingut un paper molt important. Aquesta dificultat a l'hora d'automatitzar els processos al mateix ritme que altres sectors ve provocada principalment per les grans dimensions dels camps de conreu, així com les nombroses variables que el poden afectar durant una rotació, provocant així una situació de incertesa. Actualment, però, mitjançant vehicles aeris no tripulats i altres sistemes com ara satèl·lits o aeronaus, s'estan trobant maneres de millorar alguns processos en l'agricultura, ja sigui en relació a la qualitat final del producte, el temps o d'altres aspectes. Serà per aquesta raó que ens centrarem en l'agricultura i no un altre sector on aquests sistemes RPA ja estan més implantats.

Cal tenir en compte, que en aquest treball no es podran tractar totes les tasques o processos de la agricultura tradicionals mitjançant RPAS davant la impossibilitat que té

aquest sistema de realitzar certes funcions degut principalment a limitacions com ara la mida dels vehicles o l'autonomia. És per aquesta raó, que, en comptes de realitzar una anàlisi complet de tots els processos de l'agricultura, es realitzarà una anàlisi sobre aquell procés que actualment, degut a les característiques del sistema RPA i d'altres aspectes, està més avançat tecnològicament parlant i té una viabilitat més alta: el procés de fumigació. Cal recalcar però, que també es tractaran altres aplicacions que es poden fer amb els RPAS però en menor detall.

Per tant, el tema principal d'aquest projecte serà realitzar, de manera simultània, una anàlisi sobre com es du a terme el procés de fumigació mitjançant vehicles aeris no tripulats, destacant i avaluant aspectes com quin seria el dron a utilitzar, quin seria el procés, etc, i una comparació en relació a uns quants paràmetres com ara el temps, el cost, etc, entre el mètode de fumigació tradicional i el mètode plantejat (RPAS). Per fer-ho, es realitzarà mitjançant la creació d'una empresa fictícia, realitzant l'anàlisi comentat en l'explicació dels seus serveis.

1.2. Objectius

L'objectiu principal d'aquest treball consisteix en proposar i explicar una alternativa al mètode tradicional de fumigació mitjançant el sistema RPA, demostrant, d'aquesta manera, mitjançant dades, que aquesta alternativa proposada és factible i pot resultar avantatjosa en relació al procés tradicional. Així, es podrà observar i fer conèixer aquesta tecnologia aplicable en àmbits pràcticament desconeguts per la majoria de la gent com ara l'agricultura. Per tant, l'objectiu d'aquest treball no és menysprear ni infravalorar el mètode tradicional, sinó simplement, mitjançant una anàlisi, exposar tots els avantatges i inconvenients de la tecnologia RPAS respecte el mètode tradicional. A més a més, amb aquest treball, també es vol aconseguir els següents subobjectius, mitjançant els quals s'aconseguirà l'objectiu principal:

- Unir dos sectors que, a priori, són bastants diferents, com ara l'agricultura i el sector aeronàutic per així demostrar les diferents sortides que pot arribar a tenir aquest sector.
- Conèixer i descobrir altres parts del sector aeronàutic diferents, més enllà d'aspectes relacionats amb la gestió d'un aeroport o d'una companyia aèria, com ara els sistemes RPA.
- Descobrir i aprofundir en un sector parcialment desconegut personalment parlant com ara el dels RPAS, coneixent noves nomenclatures i tots els aspectes generals en torn del món de les aeronaus no tripulades, així com els components, les aplicacions o la normativa aplicada.
- Descobrir i introduir-se en un sector totalment desconegut com ara l'agricultura, adquirint nocions importants i necessàries per a la realització de l'anàlisi principal del projecte.
- Tractar temes sobre la creació i la gestió d'una empresa, així com l'anàlisi del sector, els objectius, etc.
- Poder establir contacte amb empreses tant del sector agrícola com del sector dels drons per conèixer sobre experiències reals.

1.3. Organització de la memòria

En aquest apartat es realitzarà una breu descripció sobre el contingut de cada capítol que conté la memòria.

Capítol 1: Aquest capítol serà el capítol introductori i en ell es farà una introducció i es descriuran punts com els objectius i l'estructura.

Capítol 2. En el següent capítol trobarem una introducció als RPAS. Explicant què són, quins són els seus components i com funcionen, la seva història, quins tipus o classificacions hi ha i les seves aplicacions principals.

Capítol 3: Dins el capítol 3, es tractarà el tema de la normativa entorn del sistema RPA. En aquest apartat es tractaran tant aspectes generals de la normativa com les principals condicions d'ús de l'espai i limitacions.

Capítol 4: En aquest apartat es farà una explicació sobre com es realitza el procés de fumigació de manera tradicional i sense l'ajuda del RPAS. També es tractarà el tema de l'agricultura de precisió en contraposició a l'agricultura tradicional. Donant peu i introducció a la tecnologia RPA.

Capítol 5: Es farà una breu anàlisi sobre l'estat del mercat i de la situació del sector dels RPAS a Catalunya.

Capítol 6: Dins d'aquest capítol es presentarà l'empresa proposada, amb els seus objectius i una anàlisi breu del sector així com dels possibles clients de l'empresa.

Capítol 7: Serà la part principal del treball. En aquest capítol es descriuran els serveis a oferir realitzant una anàlisi de la tecnologia i comparant-la amb els mètodes tradicionals prèviament explicats en el capítol 4. L'anàlisi es realitzarà tant qualitativament, tractant temes com per exemple les millores en medi ambient, com quantitativament, analitzant comparativament el temps que es triga amb cada tecnologia o el preu i la inversió que s'ha de realitzar.

Capítol 8: En aquest apartat es farà una breu introducció i anàlisi d'altres funcions que es poden realitzar amb el sistema RPA a l'agricultura, descrivint com es duen a terme i quines millores aporten.

Capítol 9: Finalment, en l'últim apartat tractarem les conclusions, analitzant els resultats obtinguts.

2. Introducció als RPAS

2.1. Què són?

Al llarg dels anys, han anomenat a les aeronaus no tripulades de diverses maneres i formes. Actualment, la paraula que ha tingut més cabuda i s'ha convertit en un terme popular per la societat és la paraula dron. No obstant, el terme dron, tot i que s'utilitza comunament, no és la manera més específica de definir aquests tipus d'aeronaus sinó que se'n utilitzen d'altres com UAV, UAS, RPA i RPAS.

En primer lloc, la paraula UAV (Unnamed Aerial Vehicle) fa referència als vehicles aeris no tripulats, però només a l'aparell en si. No obstant, actualment, la paraula UAV (Unnamed aerial vehicle) s'utilitza per aquest tipus de vehicle però en àmbit militar. En segon lloc, apareix el terme UAS (Unnamed Aerial System), que és el sistema que integra els vehicles aeris no tripulats. (1)

En canvi, per una altra banda ens apareixen els termes RPA (Remoted Pilot Aircraft) i RPAS (Remoted Pilot Aircraft System). En el primer cas es refereix a l'aparell en si, i en el segon, com en el cas del UAS, es refereix al sistema que ajuda a que voli. Però, quina és la diferència entre un RPAS i un UAS? Encara que els dos no tinguin pilot que tripuli el vehicle des de dins, es pot apreciar com els RPAS (com la seva pròpia definició diu) tenen un pilot remot. Per tant, en el cas d'un RPAS, el vehicle estarà controlat per una persona, independentment de si ho fa directament (mitjançant comandament) o indirectament (mitjançant programació), però sempre hi haurà una persona que en cas de haver-hi problemes podrà agafar els comandaments del vehicle. El terme RPAS va sorgir especialment per a que la població no tingués por de que aquests sistemes poguessin causar problemes i per diferenciar-ho del UAS, que no requereix de cap persona supervisant, i el seu funcionament està subjecte simplement a un ordinador. (2)

Per tant, en aquest treball utilitzarem el terme RPAS (Remoted Pilot Aircraft System), ja que no només ens referirem a l'aeronau, ni tampoc a l'aeronau i al sistema, sinó que en aquest projecte tindrà importància l'aeronau, el sistema o controls que el governen i a més a més, la persona que porta els control.

2.2. Components

L'arquitectura d'un sistema RPA està formada per la relació i la sinergia de múltiples components i subsistemes. Alguns d'aquests subsistemes són el subsistema mecànic, el subsistema de propulsió, el subsistema de control, el subsistema d'alimentació, els sistemes de llançament i recuperació i les estacions de control.

2.2.1. Subsistema mecànic

- Marc, fuselatge o *frame*: Esquelet o estructura principal del vehicle aeri on van instal·lats tota la resta de components. És per tant l'estructura central, la que determina les mesures i altres característiques del RPA. En quant als materials utilitzats, és important que siguin lleugers i resistents a la vegada, és per això que actualment s'utilitza fibra de carboni o de vidre. La forma del marc depèn de la utilitat que se li vulgui donar i cal tenir en compte l'aerodinàmica, els més comuns són els d'ala fixa o d'ala rotatòria. (3)



Fig. 1. Frame d'un RPAS d'ala fixa



Fig. 2. Frame d'un quadcòpter

- Hèlixs: Són un dels elements més importants per a que el vehicle aconseguixi la força de sustentació requerida per a volar. Aquesta força aconseguida dependrà de paràmetres com el material de fabricació, el número de pales, les seves mides, els angles d'atac i la direcció de la rotació.

- Tren d'aterratge: Estructura sobre la qual es recolza el marc¹. Poden ser fixes o retràctils. (4)

2.2.2. Subsistema de propulsió

- Motors: Generen la força necessària per a girar les hèlixs i per tant per a que el RPA pugui volar. Els motors poden ser de diferents mesures, velocitats i potències. Hi ha dos tipus de motors els elèctrics i els de combustió. Els primers obtenen l'energia a partir de bateries, piles de combustible de hidrogen o de plaques solars i s'acostumen a utilitzar per els RPAS d'ala rotatòria. En canvi, els segons s'utilitzen per els RPAS d'ala fixa ja que proporcionen una major autonomia i fiabilitat. (5)
- Reguladors de velocitat o ESCs (Electronic speed control): Proporcionen les revolucions necessàries que requereix cada motor.(6)

2.2.3. Subsistema de control

- Controlador del vol: Ordinador que avalua contínuament l'estat del RPAS i realitza les funcions de navegació i control. S'encarrega de donar les ordres que fa que el RPA pugui realitzar els moviments o es mantingui estable. Per fer-ho, recull la informació de tot el sistema (GPS, giroscopi, acceleròmetres) i la transmet als motors. També s'encarrega de rebre les ordres enviades amb el comandament pel pilot.(6)
- GPS (Global positioning System): Component connectat al controlador de vol que permet conèixer la ubicació mitjançant un sistema de navegació per satèl·lit. És a partir d'aquesta informació que el controlador de vol podrà automatitzar el comportament del RPA. (6)
- Brúixola: Permet orientar el RPA respecte els punts cardinals.
- Acceleròmetre: Mesura l'acceleració. Serveix per determinar la posició i l'orientació de l'aeronau mitjançant les diferents formes de moviment.
- Giroscopi: Mesura els angles d'ubicació del RPA.
- Altímetre: Regula l'altura del vol. Permet mantenir una altura estable i realitzar qualsevol altre moviment simultàniament.(7)

¹ Tot i que estem fent diferenciació entre el tren d'aterratge i el marc, també es pot considerar que el tren està integrat en el marc.

- Càmera: La majoria dels RPAS disposen d'una càmera per capturar imatges. D'aquesta manera es pot veure el que "veu" el vehicle i es pot realitzar un vol més segur.

2.2.4. Subsistema d'alimentació

- Bateria: Proporciona l'energia essencial per a que el RPA funcioni. En quant a aquest component, és necessari buscar una bona relació pes/capacitat per maximitzar el temps de vol, ja que són components pesats. (6)

2.2.5. Sistemes de llançament i recuperació

- Sistema de llançament: El més utilitzat és la catapulta. Aquest sistema llença el RPA proporcionant-li l'acceleració necessària per a l'enlairament. S'utilitza només per a RPAS d'ala fixa.



Fig. 3. Sistema de llançament d'un RPAS d'ala fixa

- Sistema de recuperació: Els dos sistemes més utilitzats són el paracaigudes o l'ús d'una xarxa de recuperació. El primer és més segur ja que el segon pot provocar perjudicis en el RPA degut a la desacceleració forta que experimenta al caure en la xarxa. (4)

2.2.6. Estació de control

- Estació de control en terra: Centre de control operatiu del RPAS. Està formada per un conjunt d'equips, sistemes de comunicació i enllaços de dades que permeten el control i la supervisió del vehicle. Pot ser fixa o mòbil.



Fig. 4. Estació de control mòbil terrestre per a RPAS

- Emissora i receptora radio control: És el responsable de rebre la senyal de radio enviada des del control remot que prèviament ha transformat el moviment fet pel pilot en ondes radials. La senyal és rebuda pel receptor del vehicle i enviada a la placa, per a que s'encarregui de l'execució de l'ordre.
- FPV (First Person View): Es tracta d'un sistema de transmissió i recepció del vídeo capturat per una càmera en temps real. Per tant, serveix per a que l'usuari vegi el que "veu" l'aeronau. Té una gran utilitat ja que a part de que permet captar imatges durant el vol, proporciona seguretat en el vol. (6)

2.3. Història

Encara que actualment, associem els RPAS a una tecnologia moderna i innovadora, l'idea dels vehicles aeris no tripulats és antiga i fa dècades que s'utilitzen. El primer registre de vehicles aeris no tripulats va ser al juliol de 1849 gràcies als austríacs, quan un grup de 200 globus aerostàtics no tripulats carregats amb bombes van sobrevolar la ciutat de Venècia. D'aquesta manera es va poder realitzar l'atac evitant l'inconvenient de que no es podien instal·lar grans peces d'artilleria prop de Venècia. (8) Aquesta tècnica també es va utilitzar durant la guerra de Secessió dels Estats Units per part de les tropes unionistes (1861-1865). (9)

La segona informació rellevant que tenim sobre aquesta tipologia data de després de la Guerra Civil dels Estats Units, on es van començar a utilitzar també aquesta espècie de globus per a missions de reconeixement. Més tard, l'any 1896 als Estats Units, Samuel P. Langley va desenvolupar un avió sense pilot, impulsat per una petita màquina de vapor, que va realitzar vols amb èxit pel riu Potomac, a prop de Washington DC. (3)

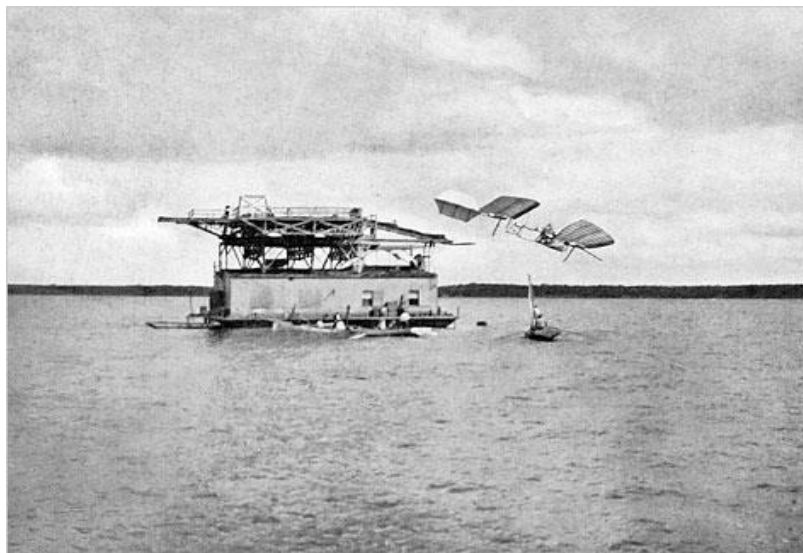


Fig. 5. Avió i estació de control desenvolupats per Samuel P. Langley

L'any 1898, durant la Guerra Hispano-Americana es van realitzar les primeres fotografies de reconeixement aeri mitjançant un RPAS gràcies a que es va equipar una càmera a un cometa. Aquesta vigilància, es va tornar a utilitzar durant la Primera Guerra Mundial ja que els militars van començar a obtenir fotografies aèries dels seus enemics gràcies a cometes.

Uns anys més tard (1907), els germans Jacques i Louis Bréguet van crear el primer dron. Era un dron amb grans limitacions ja que per exemple eren necessaris 4 persones per tal d'estabilitzar-lo i en el seu primer vol només es va aconseguir aixecar el dron 2 metres. Tot i així, en aquesta ocasió, era el primer cop que se li donava un enfocament diferent al militar. (10)

L'any 1917, durant la Primera Guerra Mundial va aparèixer el Ruston Proctor Aerial Target. El fi d'aquest avió era militar ja que tenia l'objectiu de que actués com una bomba voladora, encara que mai es va arribar a usar en combat. Aquest avió va servir de model per a molts projectes similars com per exemple el Kettering Bug o el míssil planejador Siemens, dos aeronaus que sí que es van usar durant la Primera Guerra Mundial. En relació a aquest míssil, abans de ser llançat, es calculava la seva trajectòria i quan s'obtenia la xifra estimada, el avió queia sobre l'objectiu ple d'explosius. (10) Simultàniament, els britànics, amb l'ajuda de les tècniques de radio control ideades per Archivald Low, van començar a desenvolupar més models de RPAS. No obstant, no va ser fins el 1924 que es va aconseguir fer el primer vol exitós guiat per radiofreqüència. El va realitzar un avió amb ales de set metres de longitud i va aconseguir volar durant 12 minuts. (9)



Fig. 6. Avió Kettering Bug usat com a explosiu

Tanmateix, els vehicles aeris no tripulats van seguir avançant conforme passaven els anys gràcies principalment a l'ús militar. En primer lloc, durant la Segona Guerra

Mundial es va crear el primer míssil dirigit per control remot. Per fer-ho, portava una càmera de televisió instal·lada a la part frontal del míssil. En segon lloc, durant la Guerra Freda, i especialment durant la Guerra de Vietnam, van ser usats com a eina de vigilància i espionatge capaç de capturar imatges d'espais de difícil accés (apareix el Ryan Fire bee, el Firefly y el Lightning Bug²). (8)

L'invenció del làser, les càmeres infraroges, o el servei de comunicació Frame Relay va permetre que els aparells tinguessin una major fiabilitat en l'aterratge en terra. A més a més, amb el temps també va aparèixer la necessitat de recórrer distàncies cada cop majors, és per això que es buscava la millora de la autonomia. (8)

A partir de la dècada del 2000, es va començar a fer una forta inversió en aquests vehicles i van començar a millorar de manera exponencial degut al seu ús en contra el terrorisme. Agències com la CIA, han sigut de gran importància per la evolució dels RPAS ja que els utilitzaven per sobrevolar territoris amb conflictes. (8)

Per tant, encara que actualment els RPAS gràcies a l'evolució de la tecnologia s'utilitzin per un gran rang d'aplicacions com la seguretat (detecció de mines, control fiscal, control de tràfic o control de fronteres), l'agricultura, la ramaderia i els serveis d'entrega; en el seus inicis, al igual que l'aviació o la navegació per satèl·lit "GPS", els primers usos que es van donar en aquesta tecnologia eren militars.

A Espanya, aquesta espècie de vehicles es van començar a desenvolupar a finals dels anys 80, tot i així, actualment, també hi ha una indústria civil relacionada amb aquest tipus de vehicles que consta de 20 empreses que produeixen RPAS i unes 200 que venen components per fabricar-los. Al igual que a nivell mundial, a partir de l'any 2000 va experimentar un creixement exponencial.

² RPAS que anaven enganxats a la part inferior de les ales d'un avió. Aquest els llançava i un cop completada la seva missió, tornaven de manera autònoma. S'utilitzaven per tasques de reconeixement.

2.4. Classificació

Actualment, la tecnologia RPAS està evolucionant molt ràpidament i cada vegada s'estan utilitzant per a la realització de més tasques. Degut a aquesta ràpida evolució i a la incertesa que provoca el fet de que és una tecnologia poc coneguda per a la societat, encara és difícil realitzar una classificació universalment acceptada. Tot i això, alguns dels mètodes de classificació dels vehicles aeris no tripulats són segons el mètode de generació de sustentació i segons el nivell d'autonomia i relació amb el factor humà.(11)

2.4.1. Classificació segons el mètode de generació de sustentació

En quant a la classificació segons el mètode de sustentació podem separar els RPAS en dos grans grups: els aerodines i els aeròstats. Els aerodines són un tipus d'aeronaus més pesats que l'aire que són capaços de generar sustentació per ells mateixos. En canvi, la sustentació dels aeròstats es realitza gràcies a que utilitzen un gas més lleuger que l'aire. Dins dels aerodines trobem que es poden tornar a subdividir en vehicles d'ala fixa, d'ala rotatòria i híbrids. Per una altra banda els aeròstats es poden dividir en Globus aerostàtics i dirigibles.(12)

CLASSIFICACIÓ SEGONS EL MÈTODE DE SUSTENTACIÓ				
AERODINES			AERÒSTATS	
Ala fixa	Ala rotatòria	Híbrid	Globus aerostàtic	Dirigible

Fig. 7. Classificació dels RPAS

2.4.1.1. Aerodines

a) Ala fixa

Aquests tipus d'aeronaus es caracteritzen principalment per tenir les ales unides sense moviment propi a la resta del aeronau. La sustentació d'aquest tipus de RPAS és generada gràcies als plans. A més a més, en comparació amb les altres, tenen una autonomia més elevada, però en quant a la maniobrabilitat és menor ja que requereixen de més espai per realitzar les operacions. Dins d'aquest tipus de RPAS es poden trobar diferències entre ells depèn de la col·locació de les ales.

- Ala alta: Part superior del fuselatge. Proporciona estabilitat i menys maniobrabilitat.

- Ala mitja: Part mitja del fuselatge. Equilibri entre estabilitat i maniobrabilitat.
- Ala baixa: Part inferior del fuselatge. Millor maniobrabilitat.
- Ala volant: L'ala ocupa la majoria del fuselatge. Elevada maniobrabilitat.(12)



Fig. 8. RPAS d'ala fixa alta



Fig. 9. RPAS d'ala fixa mitja



Fig. 10. RPAS d'ala fixa baixa



Fig. 11. RPAS d'ala fixa baixa

b) Ala rotatòria

En aquest cas, a diferència dels d'ala fixa, aconseguir la sustentació mitjançant el gir d'unes pales entorn a un eix. En comparació amb el d'ala fixa, aquest tipus de vehicles aconseguir molta més maniobrabilitat ja que poden realitzar moviments verticals i són capaços d'estar en estàtic prop de terra (permet captar imatges amb bona resolució), però com a inconvenient, la seva autonomia es més reduïda. Dins d'aquest grup també existeixen diverses classificacions depenent del nombre de pales i de la seva col·locació respecte les altres.

- Vehicles amb un únic rotor: La sustentació és generada per un únic rotor. La estructura és simple però de difícil maniobrabilitat.
- Vehicles amb un rotor principal i un rotor de cua: La sustentació és generada per el rotor situat a la part superior. En canvi, el segon rotor està situat a la cua per l'estabilitat de l'aeronau.
- Vehicles amb dos rotors en configuració coaxial: La sustentació es fa mitjançant dos rotors col·locats un sobre l'altre que giren en direccions oposades, fet que provoca la pèrdua d'una capacitat significativa de l'energia.
- Vehicles amb dos rotors amb configuració tàndem: Els rotors estan situats a la part superior del vehicle però de manera horitzontal.
- Multirotors: Crea la sustentació a partir de tres o més rotors. Es poden dividir en diferents tipus depenent del nombre de rotors i de la seva col·locació respecte als altres, des de 3 rotors (tricòpters o trirrotors) fins a 8 (octocòpters o octarrotors). Són els RPAS més utilitzats. Utilitzen hèlixs d'angle fix i els rotors giren tant a la dreta com a l'esquerra, fent nul·la la suma de les forces que es genera.(12)

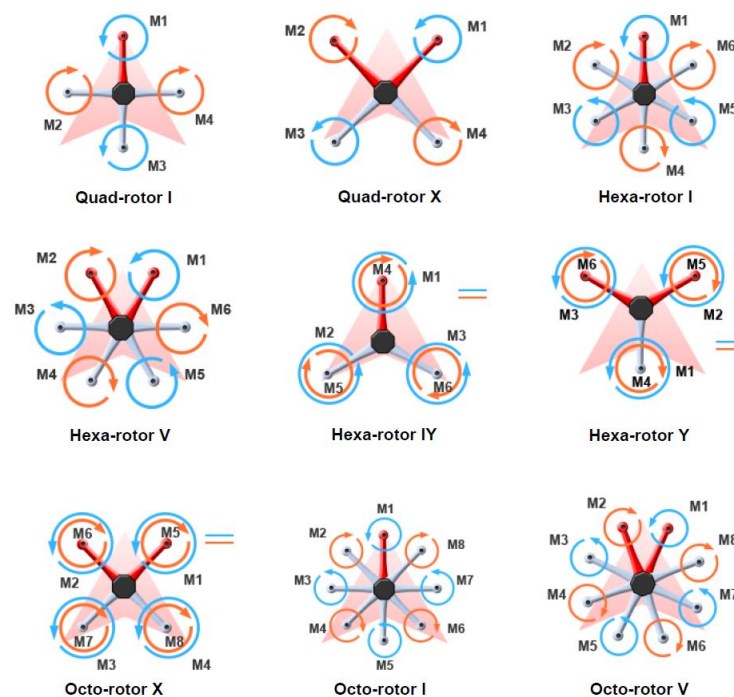


Fig. 12. Multirotors segons el nombre de rotors i col·locació

c) Híbrid

Aquests tipus de vehicles, com el seu propi nom diu, es creen a partir d'una combinació dels RPAS d'ala fixa i dels RPAS d'ala rotatòria. Per tant, tenen tant la capacitat d'aterrar i d'enlairar-se verticalment, com la capacitat d'adquirir velocitats elevades. És important recalcar que aquests tipus d'aeronaus, al disposar dels mecanismes dels dos models anteriors, té redundància de mecanismes de sustentació, fet que pot ser indispensable davant d'un problema inesperat en algun dels dos sistemes. El preu d'aquest tipus de RPAS, degut a la complexitat del seu model, és bastant elevat. (12)

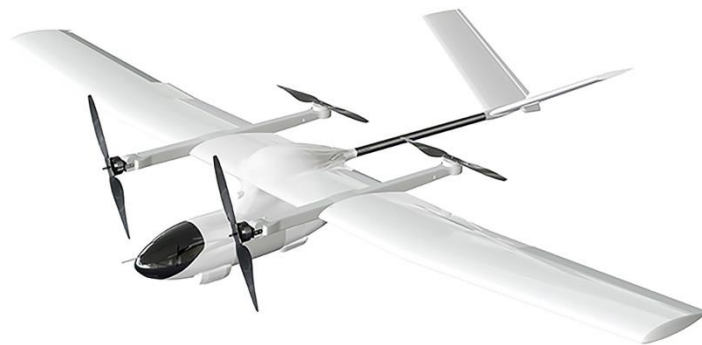


Fig. 13. RPAS híbrid (VTOL)

2.4.1.2. Aeròstats

Un aeròstat, com hem comentat prèviament, és una aeronau que té un o més recipients plens d'un gas més lleuger que l'aire, i per tant, amb menor densitat, fet que permet la sustentació. Els aeròstats poden realitzar tant moviments verticals com horitzontals, però el seu principal inconvenient és la poca maniobrabilitat que tenen. És per això que en aquest treball només ens centrarem en els aerodines. (11)

2.4.2. Classificació segons el nivell d'autonomia i relació amb el factor humà

Aquesta classificació es fa segons el nivell d'autonomia en el procés de la presa de decisions del vehicle (ACL, Autonomous Control Levels). Per classificar aquestes aeronaus es pot fer de 4 maneres diferents (de més autònom a menys):

- Autònom: No intervé el factor humà. El RPAS funciona per els seus propis sistemes i sensors integrats. Dins dels vehicles autònoms, hi ha dos tipus: els vehicles que poden reprogramar el vol en funció del seu entorn de manera autònoma, i els vehicles que es programen prèviament i no tenen capacitat d'adaptar-se a canvis.
- Monitoritzat: Requereix la figura humana per a proporcionar informació i supervisar el vol. D'aquesta manera, encara que no es té el control dels comandaments del vehicle, es pot decidir quina acció realitzarà el RPAS. També es pot cancel·lar el vol en cas de que sorgeixin problemes.
- Supervisat: El RPAS és pilotat per un operador amb possibilitat de combinar-ho amb tasques autònomes.
- Controlat directament: El factor humà intervé directament sobre el RPAS mitjançant un comandament. (11)

2.5. Usos i aplicacions

Com ja s'ha comentat prèviament, l'evolució dels RPAS ve molt determinada per l'entorn militar; en un principi totes les seves aplicacions anaven relacionades amb l'àmbit militar i amb aspectes com la defensa i la seguretat. Tot i així, encara que és una tecnologia recentment nova, dia rere dia van apareixent noves aplicacions, abandonant cada cop més l'àmbit militar i decantant-se per l'àmbit civil, per fer més fàcil la vida quotidiana de les persones.

2.5.1. RPAS civils

- Control del tràfic
- Agricultura
- Ramaderia
- Mineria
- Cartografia
- Vigilància (instal·lacions, boscos, etc)
- Servei contra incendis
- Manipulació de materials peril·losos
- Serveis d'entrega i paqueteria
- Publicitat i cinema
- Oci

2.5.2. RPAS militars

- Control de fronteres
- Detecció de mines
- Missions d'atac
- Rescat de persones
- Vigilància i reconeixement (tant de persones com de llocs) (13)

3. Normativa dels RPAS

En l'actualitat, utilitzar sistemes RPA és un fet al qual cada dia estem més acostumats degut a la revolució que han experimentat aquests sistemes en els últims anys. Dia rere dia es poden veure RPAS pels carrers utilitzats com un joc, però, el que no és tant habitual és estar al corrent de la normativa que envolta aquest tipus de vehicles.

L'organisme encarregat de la gestió i regulació dels RPAS a Espanya és l'Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA)³ i EASA a nivell europeu. AESA s'ha vist amb la necessitat d'establir un marc jurídic degut al gran creixement dels RPAS. La creació d'aquest marc jurídic pretén establir les condicions que permetin un major desenvolupament en condicions de seguretat. Per aquest motiu, després de 3 anys de normativa transitòria, es va aprovar una nova regulació per a les operacions amb RPAS, el Real Decreto 1036/2017 del 15 de desembre de 2017. Mitjançant aquesta nova regulació s'han obert nous escenaris operatius, establint condicions que s'han de complir en quant al disseny, fabricació i manteniment, així com els requisits de formació per realitzar el pilotatge. (14)

Per una altra banda, amb la creació de la nova normativa, s'eliminen gran part de buits legals de l'antiga normativa, que emmarcava més estrictament els vols amb RPAS professionals però que no tenia en consideració els vols d'oci. La nova normativa d'AESA amplia les possibilitats de vols professionals (zones urbanes o vols nocturns) i regula les limitacions per a vols d'oci. Cal recalcar que aquest Real Decret és el substitut de l'anterior Llei 18/2014, articles 50 i 51; l'anomenada en el paràgraf previ com a normativa transitòria i que AESA només s'encarrega de la regulació d'operacions de RPAS amb un pes màxim a l'enlairament (MTOW) de fins a 150 kg. (15)

A continuació es farà menció a aquells articles del Real Decreto 1036/2017 que més importància tinguin de cara al projecte. És per això que s'inclourà l'article 2, d'aquesta manera quedarà demostrat que la nostra empresa està dins de l'àmbit d'aplicació del Real Decret. També es mencionaran els articles 21 i 22 per saber les condicions sota les quals poden volar aquests tipus d'aeronaus i els articles 29,30,31 i 32 per conèixer les seves limitacions operatives.

³ L'AESA es una agencia estatal que s'encarrega de la seguretat en la aviació civil, es va fundar l'any 2009 arrel de la promulgació del Real Decret 184/2008.

Cal recalcar també que a part de constituir-se com a operador per a poder realitzar tasques amb RPAS, el segon pas està relacionat amb el Ministeri d'agricultura. El producte fitosanitari, en el cas de la fumigació, ha d'estar autoritzat per aquest ministeri per a poder ser aplicat per mitjans aeris, subjecte a les condicions del registre de productes fitosanitaris. (16)

3.1. Decret 1036/2017

3.1.1. Aspectes generals

El Conveni d'Aviació Civil Internacional de Chicago (1944) estableix en l'article 8 que cap aeronau que és capaç de volar sense pilot podrà fer-ho sobre el territori d'un Estat a no ser que es tingui una autorització especial concedida per l'estat. És per això que a nivell mundial, estan comunament acceptades només les aeronaus no tripulades pilotades per control remot (RPAS), i són només aquest tipus d'aeronau no tripulat les que poden integrar-se conjuntament (amb les restriccions que estableixi la legislació de cada estat) amb la resta de tràfics tripulats en espais aeris i aeròdroms. Per tant el RD 1036/2017, en coherència amb el conveni internacional mencionat prèviament, no contempla ni regula l'ús de les aeronaus civils totalment autònomes, ja que en espai aeri espanyol no estan permeses, sinó que només contempla els RPAS, on el responsable de detectar i evitar possibles col·lisions i/o altres perills és sempre el pilot remot.

Aquest real decret és aplicable a tot el territori i espai aeri de sobirania espanyola, i a no se que ho estipuli algun conveni o tractat internacional del qual Espanya forma part, també és aplicable en l'espai aeri en el que l'Estat Espanyol sigui responsable de la prestació de serveis de trànsit aeri. (17)

3.1.2. Àmbit d'aplicació

Article 2. Aquest real decret és de aplicació a:

- a) Aeronaus civils pilotades per control remot (RPA) que la seva massa màxima al enlairament sigui inferior a 150 kg.
- b) A les aeronaus civils pilotades per control remot, independentment de la seva massa màxima al enlairament, que efectuïn activitats d'andanes, policia, cerca i salvament, lluita contra incendis, guardacostes o similars.

- c) En relació a les aeronaus, aquest real decret no només és d'aplicació al RPA sinó al sistema complet, tenint en compte tots els elements que el configuren. Per tant també afecta al personal que els piloti o els ajudants del pilot, a les organitzacions de formació aprovades, als operadors d'aquests sistemes i, en el que correspongui, als proveïdors de serveis de navegació aèria i als gestors d'aeroports i aeròdroms.(17)

Aquest real decret no és d'aplicació a:

- a) Globus lliures no tripulats i globus captius.
- b) Vols que es desenvolupin en la seva totalitat en espais completament tancats.
- c) Aeronaus excloses en relació a lo establert anteriorment en les aeronaus que si s'aplica.
 - i) Aeronaus i sistemes pilotats per control remot militars.
 - ii) Aeronaus pilotades per control remot utilitzades exclusivament per exhibicions aèries, activitats esportives, recreatives o de competició incloses las activitats lúdiques pròpies de l'aeronau utilitzada com a joguina.
 - iii) Les aeronaus pilotades per control remot que la seva massa al enlairament sigui superior a 150 kg, excepte quan efectuen operacions d'andanes, policia, cerca i salvament, lluita contra incendis, guardacostes o similars i quan estiguin excloses de l'Annex II del Reglament (CE) 2016/2008 del Parlament europeu i del Consell.(17)

3.1.3. Condicions d'ús del espai aeri per als RPAS

Article 21. Condicions d'ús de l'espai aeri per a la realització d'operacions aèries especialitzades per aeronaus pilotades per control remot que no disposin de certificat d'aeronavegabilitat.

1. Podran realitzar operacions aèries especialitzades en zones fora d'aglomeracions d'edificis en ciutats, pobles o llocs habitats o de reunions de persones a l'aire lliure, en espai aeri no controlat i fora d'una zona d'informació de vol (FIZ), sempre que l'operació es realitzi dins de la visió del pilot (VLOS), o d'observadors que estiguin en contacte permanent per ràdio amb aquell (EVLOS), a una distància horitzontal del pilot o dels observadors no major de

- 500 m i una altura sobre el terreny no major de 400 peus (120 m), o sobre el obstacle més alt situat dins d'un radi de 150 m des de l'aeronau.
2. A més, en les mateixes zones que en l'apartat anterior⁴, però en condicions BVLOS (més enllà de la visió del pilot i dins del abast directe de l'emissió per ràdio de l'estació de pilotatge remot que permeti un control efectiu), podran realitzar-se operacions aèries especialitzades:
 - a) Per RPA de un MTOM de fins a 2 kg.
 - b) Per RPA amb sistemes aprovats per AESA que permetin al pilot detectar i evitar a altres usuaris de l'espai aeri. En cas contrari, aquests vols (BVLOS) només es podran realitzar en espais aeris temporalment segregats (TSA).
 3. Es podran realitzar operacions aèries especialitzades sobre zones d'aglomeracions d'edificis en ciutats, pobles o llocs habitats o de reunions de persones al aire lliure, en espai aeri no controlat i fora d'una zona d'informació de vol (FIZ), per RPA que la seva massa en enlairament no passi dels 10 kg. A una distància horitzontal de 100 m i una altura màxima no superior a 400 peus, o sobre l'obstacle més alt situat dins d'un radi de 600 m des de l'aeronau. S'hauran de realitzar en zones acotades o mantenint una distància horitzontal mínima de 50 m respecte a qualsevol estructura o persona.

Article 22. Condicions d'ús de l'espai aeri per a la realització d'operacions aèries especialitzades per aeronaus pilotades per control remot amb certificat d'aeronavegabilitat.

1. Els RPA que disposin d'un certificat d'aeronavegabilitat podran operar amb les condicions i limitacions establertes en el seu certificat d'aeronavegabilitat emès per AESA. Aquestes aeronaus amb certificat, quan no disposin de sistemes per detectar i evitar a altres usuaris de l'espai aeri, només podran operar fora de l'abast visual (BVLOS) en espais aeris temporalment segregats (TSA). (17)

3.1.4. Limitacions

Article 29. Limitacions relatives al pilotatge.

⁴ En zones fora d'aglomeracions de edificis en ciutats, pobles o llocs habitats o de reunions de persones al aire lliure, en espai aeri no controlat i fora d'una zona d'informació de vol (FIZ).

1. No es pot pilotar un RPA des de vehicles en moviment, a menys que es tingui una planificació de l'operació que permeti que en ningun moment s'interposi un obstacle entre l'estació de pilotatge remot i l'aeronau i que la velocitat del vehicle permeti al pilot mantenir la consciència de la posició del RPA en el espai i en relació a altres tràfics.
2. El pilot i els observadors no podran realitzar les seves funcions a 2 o més RPAS a la vegada.
3. Els RPA han d'operar de dia i en condicions meteorològiques visuals. Per realitzar vols nocturns es requerirà d'una autorització d'AESA acompanyada d'un estudi de seguretat.

Article 30. Àrea de protecció i zona de recuperació.

1. L'operador ha d'establir un àrea de manera que en un radi mínim de 30 m no es trobin persones que no formin part de l'operació. En el cas d'aeronaus d'enlairament i aterratge vertical el radi es pot reduir a 10 m.

Article 31. Objectes i substàncies perilloses.

1. Està prohibit portar a bord del RPA objectes i substàncies perilloses que estiguin enumerades en la llista efectiva de les "Instrucciones Técnicas para el transporte sin riesgo de mercancías peligrosas por vía aérea" (Document OACI 9284-AN/905)

Article 32. Vol sobre instal·lacions.

1. El vol amb RPA sobre instal·lacions amb relació a la defensa nacional o a la seguretat de l'Estat, així com les activitats dins de centrals nuclears només es podran fer amb un permís previ del responsable de la infraestructura.
2. El vol sobre instal·lacions i infraestructures de la indústria química, transport, energia, aigua i tecnologies de la informació i comunicacions es farà a una altura mínima sobre elles de 50 m i a un mínim de 25 m o 10 m de distància horitzontal depenent del tipus d'infraestructura, excepte que hi hagi un permís per accedir a la zona de protecció.(17)

4. Agricultura precisió vs agricultura tradicional

L'agricultura tradicional existeix des de fa milers d'anys i està formada per un conjunt de processos que han anat experimentant canvis al llarg dels anys. Els processos principals són: llaurar, sembrar, regar, fumigar i recol·lectar (encara que depèn del tipus de conreu en poden haver de diferents). S'ha de tenir en compte que al llarg dels anys, la tecnologia ha permès l'evolució i la millora de tots aquests processos com per exemple amb l'aparició dels tractors al principi del segle XIX, fent així de l'agricultura un sector més mecanitzat i automatitzat, i millorant la productivitat dels camps de conreu. En aquest apartat es realitzarà una petita introducció al model de fumigació tradicional i una petita introducció al nou model d'agricultura que es planteja amb el sistema RPA.

4.1. Fumigació o aplicació de fitosanitaris mitjançant agricultura tradicional

La fumigació és un mètode de control de plagues en el que gas o productes químics (pesticides) s'alliberen sobre els camps de cultiu o s'injecten en el terra per combatre les plagues d'insectes o organismes que poden danyar-les. Però, aquesta aplicació de líquids fitosanitaris, no ha de ser només de productes en contra de les plagues com poden ser els insecticides (en contra els insectes) o els herbicides (en contra les males herbes), sinó que també és necessària per a l'aplicació de fertilitzants, que ajuden a augmentar l'eficiència dels camps de conreu. Tant l'aplicació de pesticides com l'aplicació de productes fertilitzants és necessària en explotacions agrícoles per garantir l'eficiència de la producció i per evitar la pèrdua de la plantació.

El procés de fumigació és vital per l'agricultura, ja que permet evitar que un petit insecte o organisme es converteixi en una plaga que infecti tota la plantació, fet que provocaria la pèrdua del conreu ja que es faria malbé. Dit en unes altres paraules, la propagació d'una plaga provocaria pèrdues econòmiques elevades ja que no només es perdria la inversió inicial que s'ha realitzat per plantar, regar i totes les fases prèvies, sinó que també es perdrien tots els futurs beneficis de la collita del conreu.

A l'hora de realitzar la fumigació s'han de tenir en compte diversos factors, com per exemple: el tipus de plaga o d'insectes que esta causant el problema, el tipus de terreny en que s'ha de realitzar la fumigació, com s'aplicarà la fumigació i, sobretot, s'ha de

protegir i vetllar per la salut de les persones que apliquen el producte o que estan o estaran en la zona afectada. Cal recalcar també, que a l'hora de fumigar s'ha de preparar el líquid fumigador, que és una barreja del producte amb aigua, i que en aquest procés, es gasta una gran quantitat d'aigua.(18)

4.1.1. Tècniques de fumigació

- a) Fumigació a mà: Perfecte per a superfícies petites o cases particulars. Molt lenta i l'usuari està totalment en contacte amb el producte químic (més perillós).
- b) Fumigació amb avió: Prohibida en territori espanyol amb excepcions, molt perillosa per la salut i mediambientalment molt contaminant. S'ha utilitzat excepcionalment (amb permisos) però només en boscos⁵. La fumigació per aquest mitjà en parcel·les o cultius particulars està prohibida.
- c) Fumigació amb tractor o màquina pulveritzadora: Fumigació més utilitzada en quant a cultius o camps de conreus privats de gran superfície. d'aplicació.(19)



Fig. 14. Fumigació amb avió.



Fig. 15. Fumigació amb màquina de barra.



Fig. 16. Fumigació amb turbina hidràulica.

⁵ Utilitzada per a la fumigació de l'eruga processionària a l'any 2015 a Andalusia, Illes Balears, Extremadura, País Basc, Madrid y Murcia

4.1.2. Fumigació amb tractor o màquina fumigadora

La polvoritzadora agrícola és l'encarregada de la distribució dels líquids químics necessaris per fumigar. La distribució del líquid fumigador és diferent en funció del tipus de cultiu. Per a cultius de més de 2 metres d'alçada s'han d'utilitzar fumigadores amb turbina hidràulica (fumigadores turboatomitzadores), fet que provoca que la distribució del líquid sigui menys precisa. Per una altra banda, per a cultius de menys de 2 metres d'alçada es poden utilitzar fumigadores amb barres que distribueixen el líquid. Aquestes màquines, per tal de realitzar la correcta distribució dels productes fitosanitaris, disposen de sortidors situats a la barra, i, segons les característiques del camp o el tipus de conreu, es poden aplicar diferents pressions i diferents taxes.

Dins de les fumigadores de barra trobem 3 tipus diferents de màquines: les suspeses, les arrastrades i les autopropulsades. S'usarà una màquina o una altra principalment en funció de l'extensió del camp de conreu a fumigar. En primer lloc, les suspeses són màquines fumigadores que van enganxades a la part posterior del tractor i no disposen de rodes (com si li apliquessis una motxilla al tractor), i per tant, no només no tenen força pròpia per desplaçar-se sinó que tampoc tenen ningun tipus de contacte amb la superfície. Aquest tipus de fumigadora acostuma a ser per camps de conreus petits (fins a 20 HA) degut a que la capacitat de líquid que pot arribar a tenir el tanc és bastant limitada (entre 200 L i 2200 L normalment). A més, les màquines suspeses acostumen a tenir una barra de poca amplitud (normalment de 10 o 15 m)⁶, tot i que n'existeixen des de 6 m fins a 30 m. Cal recalcar, però, que les barres amb molta amplada no s'utilitzen ja que no són tant òptimes per aquest tipus de màquines degut a la limitació del tanc, i a més, tampoc són necessàries per a la fumigació de camps de conreus de poca superfície. (20)

En segon lloc, les arrastrades, de la mateixa manera que les suspeses, són màquines que també van enganxades a un tractor per la part posterior, però a diferència de les anteriors, si que disposen de rodes i per tant, estan en contacte amb la superfície. D'aquesta manera, amb l'ajuda de les rodes i el contacte amb la superfície, el pes de la màquina no recau totalment sobre el tractor sinó sobre el terra, permetent així l'augment de la capacitat del tanc (tancs de líquid de fins a 7000 L). Aquest tipus de màquina s'acostuma a utilitzar per camps de grans superfícies i pot tenir un ample de barra

⁶ Xifres obtingudes per les empreses comercialitzadores de fumigadores suspeses Fendt, Hardy i AMP, sobre l'ample de barra de les fumigadores suspeses més venudes i utilitzades.

normalment des de 18 m fins a 40 m, que en aquest cas, a diferència de les suspeses, les barres amb més amplitud si que seran òptimes degut a la gran capacitat del tanc. (21)

Finalment, les autopropulsades, a diferència de les dues anteriors, no requereixen de la força d'un tractor per a funcionar ja que com el seu nom diu, tenen un sistema de propulsió propi. Les autopropulsades permeten la fumigació de grans extensions ja que també disposen de tancs de gran capacitat (tancs de líquid de fins a 9000 L) i de barres de gran amplada (des de 18 m fins a 52 m). (22)

Per tant, la principal diferència entre aquests tres tipus està en la manera en que es desplacen per el camp de conreu i en la capacitat del seu tanc. En quant a les empreses que comercialitzen amb màquines fumigadores a Catalunya, les més importants són Fendt, Hardi i AMP. Aquesta última és una empresa creada a Catalunya que fabrica tant màquines turboatomitzadores com de barra.



Fig. 17. Màquina fumigadora suspesa Hardi.



Fig. 18. Màquina fumigadora arrastrada Hardi.



Fig. 19. Màquina fumigadora autopropulsada Hardi



Fig. 20. Màquina fumigadora turboatomitzadora AMP.

4.2. Agricultura de precisió

Tot i que l'agricultura tradicional ha estat sotmesa a avenços provocats per l'aparició de noves màquines, actualment, està apareixent un nou terme anomenat agricultura de precisió. L'agricultura de precisió és un terme agronòmic que engloba el conjunt de tecnologies que s'apliquen al treball de camp com per exemple satèl·lits, sensors, RPAS, etc; i consisteix en gestionar els cultius observant, mesurant i actuant davant la variabilitat de molts factors que els afecten. Per tant, aquests sistemes recullen la informació que després s'utilitza per a prendre decisions amb més precisió que en l'agricultura tradicional, sent capaç de maximitzar la producció de cada centímetre del terreny i optimitzant el rendiment dels cultius, els recursos hídrics i els productes que s'utilitzen. (23)

En l'agricultura de precisió es deixa de veure el camp de conreu com una única unitat de treball, ja que en qualsevol camp de conreu pot haver-hi zones amb diferents propietats del sòl, zones més afectades que altres per alguna plaga, etc. Per tant, aquest nou model et permet tractar la parcel·la de diferents maneres segons li convingui a la zona.

4.2.1. Etapes de l'agricultura de precisió

L'agricultura de precisió consta de 4 etapes:

1. Adquisició de dades: Es realitza mitjançant l'ajuda de sistemes RPA, de sensors i de satèl·lits. En aquest cas es realitzarà mitjançant RPAS.
2. Anàlisi de les dades: Un cop registrades totes les dades s'han d'organitzar per tal de facilitar el procés de interpretació. Per a realitzar-ho s'utilitzen eines estadístiques i matemàtiques com poden ser gràfiques.
3. Presa de decisions: El coneixement humà, sumat a l'experiència i a les dades prèviament organitzades és el que permet realitzar un bon procés de presa de decisions. Aquesta presa de decisions pot ser tant sobre accions preventives (avançar-se a plagues o a malalties) com sobre accions de gestió (ex. accions per minimitzar costos o per millorar rendiment, com ara saber quan s'ha de regar una porció del camp a diferència d'una altra).
4. Monitorització del rendiment: Es tracta de l'avaluació de la producció i de les accions preses per poder reduir errors de cara al futur. Aquesta feina és més fàcil degut a la continua monitorització del camp de conreu. (23)

D'aquesta manera, a priori, mitjançant l'aplicació de l'agricultura de precisió, s'aconseguirà una millora i un conjunt d'avantatges tant a nivell qualitatiu com quantitatiu. Alguns d'aquests temes sobre els quals es realitzarà l'anàlisi per saber la repercussió que té l'agricultura de precisió amb RPAS seran per exemple aspectes econòmics, mediambientals, en relació a la qualitat del producte, etc.

5. Estat del mercat

Segons un estudi fet per Acción al 2019, tot i que la majoria d'elles són pimes de nova creació (menys de 10 anys), s'han identificat a Catalunya unes 67 empreses que es dediquen a l'operació amb RPAS en general. La agricultura, però, i concretament l'agricultura de precisió i la fumigació, és un dels àmbits d'aplicació que tindrà més rellevància a curt termini.

Per tant, l'estudi determina que es tracta d'un sector en desenvolupament on el 100% són pimes i el 81% d'aquestes empreses són de nova creació i tenen menys de 10 anys. Si classifiquem les empreses segons les aplicacions o sectors en que es centren podem veure com les empreses del sector audiovisual són les que tenen més pes (44%), seguit de les empreses que realitzen inspeccions (18%), l'agricultura (9%), l'anàlisi geogràfic (7%), les emergències (6%), l'oci (4%) i la seguretat (1,5%). Cal recalcar que encara que les empreses del sector agrícola no siguin les que tinguin més pes, estan experimentant un fort creixement.

La majoria d'aquestes 67 empreses que treballen a Catalunya amb RPAS son operadors (66%), i per tant, es dediquen a oferir serveis a altres empreses utilitzant aquest tipus de sistemes. Per una altra banda, dins la minoria de les empreses tenim les que es dediquen a fabricar-los (10%), les que ofereixen serveis tècnics i formatius (9%), les que estan especialitzades en el tractament de dades capturades per RPAS (7%) i finalment, el 7% restant, que son integradors (consultories que busquen encaixar els sistemes RPA en alguns processos habituals d'empreses ja existents).

L'estudi també subratlla que es tracta d'una tecnologia que és aplicable en molts sector, que té un fort impacte en la innovació i que és compatible amb altres tecnologies com per exemple la intel·ligència artificial, la robòtica, la realitat augmentada o la ciberseguretat. La principal avantatge que aportaran els RPAS serà la capacitat de captar una gran quantitat d'informació de forma precisa en temps real i això permetrà en l'agricultura realitzar anàlisis geogràfics i per tant, millorar el procés sobre la presa de decisions.

La principal empresa catalana del sector és Hemav, que es dedica al sector agrícola, o Aerial Insights, que es dedica a la topografia i la cartografia aèria, utilitzant els RPAS

per a obtenir imatges i processar-les produint mapes. A més a més, aquesta última empresa també ofereix serveis de monitorització del conreu.

Com ja hem comentat prèviament, el sector està en creixement a Catalunya i a Espanya, així mateix, aquest creixement també es reflecteix a nivell europeu, posicionant-se com a tercera potència mundial després dels Estats Units i la Xina en aquest sector. Segons l'estudi, la xifra de RPAS per a ús professional augmentarà a 400.000 unitats aproximadament cap a l'any 2035 a Europa i la facturació agrupada de les empreses dedicades als RPAS s'espera que passi de 3.700 milions de dòlars al 2017 a 30.000 milions al 2030. (24)

6. Agrodrone

6.1. Qui som?

En aquest apartat, s'introduirà l'empresa aeronàutica dedicada als RPAS que es crearà per a la realització del treball. D'aquesta manera, com ja hem comentat prèviament, serà aquesta empresa a través de la qual es realitzarà l'anàlisi i la comparació entre aquest sistema i el mètode tradicional. Per tant, es realitzarà una petita pinzellada sobre alguns dels aspectes de l'empresa per donar una visió general de l'empresa que es podria crear sense entrar en aspectes molt tècnics.

Agrodrone és una operadora aeronàutica de RPAS professionals, autoritzada per la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), per a la realització de serveis en el sector agrícola. És una empresa jove creada l'any 2020 a Catalunya que compte amb professionals d'àmplia experiència i formació, i té la finalitat de millorar i facilitar la vida de les persones que treballen al camp. Per fer-ho, l'empresa enfoca els seus procediments en un nou model d'agricultura on els grans protagonistes són els RPAS, i incorporant un nou terme en el món de l'agricultura anomenat agricultura de precisió, convertint-la així en una agricultura més eficient.

L'empresa utilitza RPAS com una eina molt potent per a la captació de dades. A partir del processament del vol es pot obtenir qualsevol tipus de pla i realitzar operacions sobre ell. El vol d'aquests RPAS juntament amb l'ús de càmeres multiespectrals i tèrmiques s'utilitzen per optimitzar recursos i obtenir resultats que sense aquestes tecnologies serien inimaginables. Agrodrone utilitza diferents tipus i models de RPAS segons la funció a realitzar i ofereix bàsicament serveis de fumigació a tot el territori espanyol, de diverses maneres, tenint en compte i controlant en cada moment l'estat de la finca i de la plantació per aconseguir una millor eficiència de la mateixa.

6.2. Objectius de l'empresa

Com ja s'ha comentat anteriorment, la finalitat d'Agrodrone és substituir les tècniques de l'agricultura tradicional utilitzades principalment en el procés de fumigació per tècniques on el principal protagonista sigui el RPAS, facilitant així la vida de les persones que treballen en el sector primari i reduint el seu esforç. Per tant, el que volem és brindar solucions aèries a les necessitats dels nostres clients, oferint un conjunt de serveis sempre amb la millor qualitat, cooperació i innovació. La nostra missió és mostrar als empresaris agrícoles que unir dos mons tant separats com l'agricultura i l'aeronàutica és possible, facilitant l'accés als nostres serveis i aportant l'última tecnologia. D'aquesta manera el que volem aconseguir és ser líders d'un sector pràcticament desconegut per a la majoria de gent a Catalunya.

Per tant, Agrodrone, amb l'ajuda dels RPAS, ofereix un servei en que els seus tres objectius principals a l'hora de realitzar el procés de fumigació són els següents:

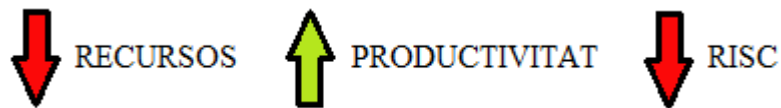


Fig. 21. Objectius d'Agrodrone

Per tal d'aconseguir aquests objectius, l'empresa busca gaudir d'un conjunt d'avantatges competitius en comparació a tècniques de l'agricultura tradicional en relació a les següents qüestions:

- Aconseguir una reducció en costos d'explotació en el procés de fumigació respecte a l'agricultura tradicional.
- Aconseguir una reducció en temps en el procés de fumigació respecte a l'agricultura tradicional que al final s'acaba reflectint en reducció de cost.
- Aconseguir una maximització de l'explotació del camp de conreu evitant la pèrdua de parts del camp de conreu.
- Implementar tècniques més responsables, mediambientalment parlant, per reduir el grau de contaminació en comparació amb l'agricultura tradicional.

- Implementar tècniques que no afectin a la salut humana per reduir encara més, el grau de perillositat i el risc en el procés de fumigació.
- Aconseguir una reducció de l'esforç humà en el procés de fumigació en comparació a l'agricultura tradicional.
- Utilitzar un sistema que aporti seguretat i qualitat en les operacions.

6.3. Característiques dels possibles clients

Agrodrone, com ja s'ha comentat prèviament, es dedica a la fumigació amb RPAS. Aquesta tecnologia, al realitzar-se mitjançant vehicles aeris, té una gran mobilitat i no limita la seva operativa a un únic tipus de camp de conreu sinó que ofereix un gran ventall de possibilitats a l'hora de fumigar. És per aquesta raó que, mitjançant RPAS, a diferència de les fumigadores de barra o turboatomitzadores, és possible fumigar zones de difícil accés, amb pendents o espais reduïts, on maniobrar amb la barra seria complicat, oferint així una gran varietat de serveis.

En primer lloc, la tecnologia RPAS no fa cap distinció en relació al tipus de plantació a fumigar ja que gràcies al seu sistema de distribució de líquid es permet adaptar el ample de fumigació. És per això que el RPAS tant podrà realitzar una fumigació d'una plantació uniforme utilitzant el rang màxim, com d'una plantació irregular d'arbres utilitzant un diàmetre de polvorització adaptat a les mesures de la copa de l'arbre. A més, aquest tret diferencial també permetrà realitzar la fumigació en boscos on la mobilitat del tractor suposaria un problema.

Per una altra banda, la fumigació mitjançant RPAS tampoc té en compte les mesures del camp i no suposa cap problema la fumigació de camps de moltes hectàrees ja que el sistema permet la combinació de diversos vehicles amb un sol comandament. Actualment, en territori espanyol, l'únic impediment en contra del sistema RPA per a la fumigació de camps de grans superfície és la normativa que no permet allunyar el RPA a més de 500 m del pilot o d'un observador⁷. Per tant, mitjançant aquest sistema, Agrodrone no disposa de preferències ni de clients objectius, sinó que gràcies a la tecnologia es pot adaptar a cada camp de conreu i a les peticions de cada agricultor.

La majoria de clients d'Agrodrone, al ser una empresa nascuda a Catalunya, seran agricultors catalans i en menor mesura de la resta d'Espanya. Al tractar-se de drons, que són fàcilment emmagatzemables, la mobilització dels aparells no suposarà un problema greu a l'hora d'arribar al camp de conreu a fumigar i és per això que es podran realitzar també tractaments fora de Catalunya.

⁷ Segons la normativa espanyola d'operació de RPAS (RD 1036/2017, de 15 de diciembre), un observador és aquella persona designada per l'operador que, mitjançant observació visual del RPA, directa i sense ajuts que no siguin lents correctores o ulleres de sol, ajuda al pilot en la realització segura del vol. L'observador s'ha de mantenir sempre en contacte permanent per ràdio amb el pilot. Els observadors ha d'acreditar, com a mínim, els mateixos coneixements teòrics que un pilot professional de RPAS.(17)

En relació als camps de conreu de Catalunya, un 46 % dels conreus són conreus de cereals (blat, arròs, civada, etc) seguit del conreu d'olivera (12%), de farratges (11%), de la vinya (7%), dels fruits de closca (6%), de la fruita dolça (6%) i dels cítrics (1%), entre d'altres. Per una altra banda, segons les dades de la DUN⁸ (la declaració agrària) i l'IDESCAT del 2018, la superfície total d'hectàrees és de 756.082 HA distribuïdes en un total de 48.891 explotacions agrícoles. Per tant, tot i que com ja hem comentat que mitjançant la tecnologia RPA no hi hauria cap problema en fumigar camps de moltes hectàrees, la mitjana de la superfície dels camps de cultiu de Catalunya és de 15,47 HA ($\frac{756082 \text{ HA}}{48891 \text{ cultius}}$), xifra pròpia de camps de conreu no molt grans. Cal recalcar també que les zones de Tarragona i València proporcionen un 85% del total de la producció espanyola i que l'arròs és un dels conreus més típics en la fumigació mitjanant RPAS.

(25)

	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona	Catalunya
Cereales	59.414	38.897	190.984	41.330	330.625
Leguminosas en grano	3.056	1.501	9.410	1.195	15.162
Forrajes	32.760	38.215	50.111	2.528	123.614
Tubérculos	289	206	241	104	840
Hortalizas	3.028	1.541	1.163	3.535	9.267
Cítricos (1)	4	0	0	8.335	8.339
Fruta fresca(1)	1.114	2.604	35.092	3.949	42.759
Frutos secos(1)	753	1.267	18.217	29.679	49.916
Viñedo(1)	21.083	2.076	4.304	25.730	53.193
Olivo(1)	2.837	3.574	35.984	62.758	105.153
Cultivos industriales	4.609	7.737	4.441	427	17.214
TOTAL	128.947	97.618	349.947	179.570	756.082

Fig. 22. Distribució de les hectàrees per tipus de conreu i territori a Catalunya.

Per tant, Agrodrona oferirà serveis de fumigació sense fer cap mena de distinció en la grandària del camp o en el tipus de camp de conreu (uniforme, arbres fruiters o boscos). Donant importància únicament a les peticions de l'agricultor, que serà el que decidirà en tot moment com vol realitzar el servei de fumigació, amb quin producte i en quines quantitats.

⁸ La DUN és l'eina principal de comunicació de dades de les explotacions agràries per part dels agricultors al Departament d'Agricultura de Catalunya.

7. Serveis a oferir

Agrodrone, com ja hem comentat prèviament, ofereix als seus clients un conjunt de serveis mitjançant l'ajuda de la tecnologia RPAS. Per una banda, és amb l'ajuda d'aquesta tecnologia on s'aconsegueix una diferència en comparació a l'ús d'altres màquines en aspectes com el cost, el temps, el medi ambient o la salut humana. Per una altra banda, també és gràcies a aquesta nova tecnologia la possibilitat d'oferir un nou ventall de serveis i possibilitats que permeten orientar l'agricultura cap a un nou model (agricultura de precisió), millorant també en molts aspectes com els comentats anteriorment.

7.1. Disseny del RPAS

Per a la realització del procés de fumigació és necessari l'ús d'un RPAS d'ala rotatòria ja que és molt important la maniobrabilitat i la capacitat d'enlairar-se i d'aterrar verticalment, d'aquesta manera es poden evitar obstacles durant el procés de fumigació i és fàcil realitzar maniobres en cas de que el terreny no sigui regular. A més, també permet un millor control del vehicle que fa més fàcil la dispersió del líquid sobre el terreny. Actualment, entre els millors RPAS del mercat tenim el DJI Agras T16 i el seu antecessor, el DJI Agras MG-1P. Agrodrone, per a la realització de tasques de fumigació es decanta per el DJI Agras T16 que té una eficiència superior a la del seu antecessor.



Fig. 23. RPAS DJI Agras T16.

1. Estructura:

- RPA d'ala rotatòria formada per 6 rotors (hexarotor).
- Té 4 bombes i 8 sortidors per tal de distribuir el líquid (2 sortidors sota de 4 hèlixs).
- Tanc amb una càrrega de 16 L (situat al centre).
- Sistema d'aspersió d'alta precisió degut a que la força que creen les hèlixs ajuda a dirigir el líquid cap a la plantació.
- Diàmetre de polvorització màxim de 6,5 m.
- Rang de polvorització: 0,45 - 4.8 L/min.
- Es pot veure en temps real el líquid sobrant.
- Plegable: es pot reduir fins al 25% de les seves mesures.
- Manteniment reduït, les peces principals del RPA estan protegides.
- Fabricat a partir de fibra de carboni, que permet una estructura lleugera però resistent.
- Redundància en el sistema de propulsió per assegurar seguretat en les operacions.
- Conté dos llums (per situacions de visibilitat reduïda), fet que permet realitzar la tasca de fumigació en situacions amb pluja, o fins i tot realitzar-la de nit.
- Pes total sense bateria de 18,5 kg.

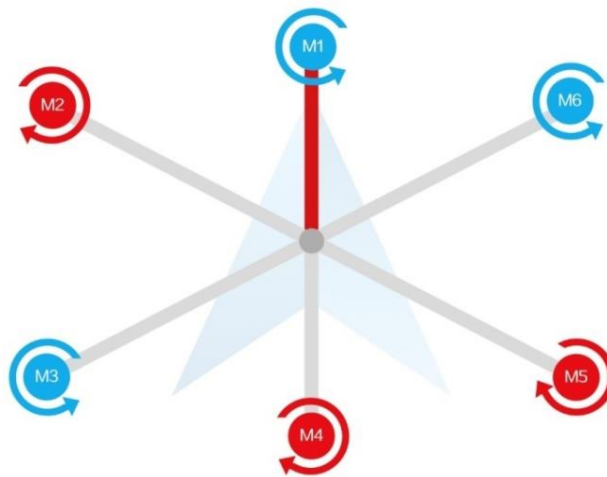


Fig. 24. Sistema propulsió de DJI Agras T16.

2. Sistemes de radars:

- Redundància de IMU (unitat de mesura inercial)⁹, baròmetres (per mesurar la pressió atmosfèrica) i sistemes GNSS+RTK (per conèixer la posició en temps real), que permet obtenir una precisió de nivell centimètric.
- Doble antena que permet evitar interferències electromagnètiques.
- Radars que detecten l'entorn tant de dia com de nit (el radar no es veu afectat ni per la llum ni per la pols). Utilitza el sistema DBF (beamforming, conformació de feixos), capaç de generar núvols de punts 3D per a detectar l'entorn i evitar obstacles.
- Radar per evitar col·lisions a davant i darrera.

3. Control remot:

- Distància màxima de control fins a 3 km a una altitud de vol de 2,5 m.
- Altitud màxima de vol de 30 m.
- Amb un control remot es permet controlar fins a 5 aeronaus.
- Capacitat de veure el líquid restant en temps real.

4. Bateria:

- Pot estar realitzant un vol estacionari durant 18 minuts si el pes de enlairament és inferior de 24,5 kg i durant 10 minuts si és inferior a 39,5 kg.
- Facilitat a l'hora de canvi de bateries.
- Las bateries tenen 400 cicles de funcionament.
- Es poden carregar fins a 4 bateries simultàniament.
- Càrrega completa de la bateria en 20 minuts.

5. Capacitat operacional:

- Velocitat màxima de vol: 10 m/s.
- Velocitat màxima de vol durant el treball (procés de fumigar): 7 m/s.
- Camp de visió horitzontal de la càmera de 100°.
- Capacitat de treball aproximada segons el fabricant: fumigació de 10 HA per hora (a una velocitat de 6 m/s, amb una altura de dos metres per sobre de la plantació i amb un diàmetre de polvorització de 6,5 m).

⁹ Dispositiu electrònic que mesura la velocitat, la orientació i las forces gravitatòries d'un objecte.(26)

6. Millores més significatives respecte el DJI Agras MG-1P:

- Augment del 60% de la capacitat del tanc: de 10 L (DJI Agras MG-1P) a 16 L (DJI Agras T16).
- Augment del 100% de la velocitat de polvorització/fumigació: de 2,4 L/min a 4,8 L/min.
- Augment del 44% del diàmetre de polvorització: de 4,5 m a 6,5 m.
- Augment de l'eficiència operativa durant el procés de fumigació: de 6 HA per hora a 10 HA per hora.(27) (28)

7.2. Procés de planificació

Com ja hem comentat prèviament, per realitzar la tasca de fumigació s'utilitzarà el RPA DJI Agras T16 ja que és un dels més eficients actualment en el mercat. En quant als procediments, cal distingir entre dos processos diferents: el procés de planificació i el procés de fumigació. En aquest primer apartat només tractarem el procés de planificació. És important tenir en compte dos aspectes diferents que s'han de planificar: la planificació del recorregut i la planificació sobre el nombre de vehicles que s'hauran d'utilitzar.

7.2.1. Planificació del recorregut

En primer lloc, com acabem de comentar, s'ha de realitzar una planificació del recorregut que realitzarà el RPA. D'aquesta manera es programa el recorregut que farà el RPA tenint en compte una sèrie de paràmetres: les mesures que té el camp de conreu, la seva forma, la inclinació/relleu i el tipus i estat de plantació. Segons aquests quatre paràmetres sorgeixen tres maneres diferents de programar el recorregut: la planificació per a plantacions regulars en terrenys plans, la planificació d'arbres fruiters, boscos i plantacions irregulars o la planificació per sectors. D'aquesta manera, s'establiran diferents formes de planificar l'operació, ja que no és el mateix fumigar una zona uniforme d'un conreu baix (menys de dos metres) que fumigar un camp de conreu d'arbres fruiters en el que existeix una separació entre ells i diferents altures degut a que poden haver-hi arbres més alts que altres. (29)

a) Planificació de plantacions regulars planes.

En el primer dels tres casos es programarà el recorregut que ha de realitzar el RPA mitjançant l'ordinador amb l'ajuda d'un planell 2D obtingut prèviament amb un altre RPA o amb altres tecnologies com poden ser els satèl·lits. S'utilitzarà un planell 2D ja que tota la plantació és uniforme (separació entre planta i planta pràcticament inexistent) i l'altura de les plantes és menor a 2 m i no té importància ja que són totes molt semblants en quant a l'altura. El recorregut es farà amb circuits en forma de "S". Aquests circuits s'iniciaran des d'un dels vèrtexs del camp de conreu en el cas que tingui forma poligonal. Cal recalcar que la majoria dels grans camps de conreu tenen forma poligonal i concretament, de quadrilàter (polígon de 4 costats). Tot i que en el cas que no fos així, es podria realitzar agafant un dels límits de la forma irregular/curvilínia.



Fig. 25. Procés de fumigació en “S”.

Com es pot apreciar a la imatge, les “S” han de ser paral·leles entre elles i entre cada línia paral·lela ha d’haver-hi una separació de 6,5 m degut a que el diàmetre de polvorització és de 6,5 m (3,25 m a cada banda del RPA). Per tant, si la programació es fes manual (sense programa informàtic) i el RPA que s’utilitzés per a realitzar la fumigació fos conduït també manualment seria important col·locar-lo a 3,25 m del límit del camp de conreu per d’aquesta manera optimitzar al màxim l’operació. Tot i això, com ja he dit prèviament, com que actualment per a realitzar la planificació es disposa de programa informàtic, no serà necessari realitzar ni calcular cap distància respecte el límit ja que és el programa el que automàticament, sabent els límits del camp de conreu, et calcula i planifica el recorregut que ha de realitzar el RPA mitjançant itineraris en forma de “S”.(29)

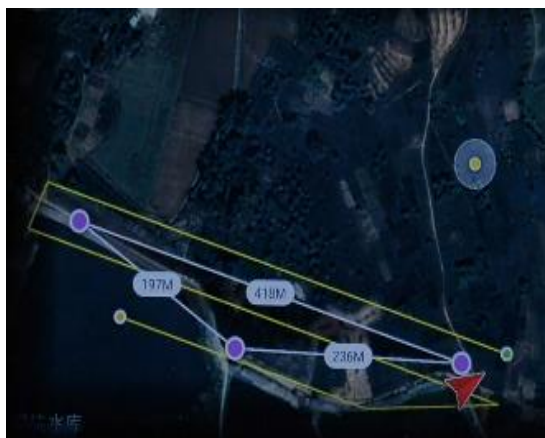


Fig. 26. Exemple 1 de planificació de recorregut.



Fig. 27. Exemple 2 de planificació de recorregut.

En aquestes imatges es poden veure 2 exemples diferents sobre la planificació de la ruta en “S”. El primer d’ells sobre un polígon en forma de triangle i el segon sobre un polígon en forma de pentàgon. Tanmateix, els circuits de “S” no sempre seran regulars ja que en moltes ocasions hi hauran parts del camp que no s’hauran de fumigar (com per exemple un petit estany) o parts que s’hauran d’esquivar (petita edificació de treball o arbre), és per això que a l’hora de la planificació, s’hauran d’indicar aquestes parts que no fan falta fumigar per a que el circuit del RPA les rodegi i un cop rodejades segueixi amb la trajectòria que portava anteriorment.

Tot i això, el procés de planificació no sempre serà suficient per a detectar algun impediment que tingui la ruta. Serà en aquestes ocasions on el propi RPA, durant l’operació i amb l’ajuda del sistema DBF (beamforming, conformació de feixos) i el radar per evitar col·lisions amb el que està equipat, serà capaç de detectar l’impediment o objecte i rodejar-lo per evitar la col·lisió. Aquesta decisió sobre canvi en la planificació, a diferència de les comentades anteriorment, serà presa per el RPA en temps real i un cop realitzada, el RPA tornarà a la posició del recorregut que tenia programada. Aquestes dues tecnologies també permeten planificar rutes sobre camps de conreu que tinguin una inclinació constant, ja que poden detectar el angle de la pendent i ajustar el vol apropiadament a aquella pendent inclús en terreny muntanyós.(29)



Fig. 28. Exemple de planificació amb impediments.

b) Planificació d'arbres fruiters

El segon tipus de planificació s'utilitza per a la fumigació de plantacions irregulars. Entenem plantacions irregulars com aquelles que entre planta i planta hi ha una separació considerable. Aquestes plantacions acostumen a ser plantacions d'arbres fruiters o boscos, en que els arbres tenen diferents altures i per tal de no limitar el seu creixement s'ha de deixar espai entre arbre i arbre.

La diferència principal entre aquesta fumigació i l'altra és que en aquesta no serà necessari fumigar constantment sinó només farà falta fumigar sota la localització concreta de cada arbre. Per tant, s'haurà de programar el recorregut del RPA per a que passi per sobre de cada arbre. D'aquesta manera s'evitarà una gran pèrdua de líquid que es produiria si el RPA fos programat com en el cas anterior.

Per a realitzar aquesta ruta, a diferència del cas anterior, és necessari un mapa 3D del terreny. Amb l'ajuda del mapa 3D es podran localitzar les zones on hi ha volum i per tant es podrà saber on esta situat cada arbre de manera centimètrica. Aquest mapa es podria obtenir, per exemple, fent servir un altre RPA anomenat DJI Phantom 4 RTK. El Phantom 4 RTK és un RPA més petit que el DJI Agras T16 que serveix per cartografiar zones en 3D i té les següents característiques:

- RPA d'alà rotatòria multirotor de 4 hèlixs.
- La distància diagonal del RPA és de 350 mm (sense comptar les hèlixs).
- Velocitat màxima de 50 km/h (modo P) i 58 km/h (modo A).
- Altura màxima de 6000 m sobre el nivell del mar.
- Camp de visió de 70° en horitzontal i 10° en vertical.
- Distància màxima de control fins a 7 km.
- Càmera amb resolució de 20 MP.
- Equipat amb sistemes GNSS+RTK.
- Capacitat de recollida de imatges en un vol (25/30 min) de 1 km² (100 HA).(30)



Fig. 29. RPA DJI Phantom 4 RTK

El RPA DJI Phantom 4 RKT utilitzarà per a cartografiar el mateix sistema de “S” que utilitza el DJI Agras T16. Un cop hagi realitzat el recorregut, es processaran les dades i amb l’ajuda del programa DJI Terra, es podrà cartografiar la zona analitzada i obtenir el mapa en 2D o segons el nostre interès, en 3D.

Amb l’ajuda del mapa 3D es facilitarà en gran manera les tasques d’anàlisi. Serà també gràcies a aquest mapa amb el que el programa podrà realitzar el recorregut en “S” de la missió del DJI Agras T16, tenint en compte la distribució i l’altura dels arbres. Per tant, el RPA automàticament realitzarà el seu recorregut canviant d’altura per evitar col·lisions i fumigarà únicament aquelles zones on hi hagi un arbre. (29)

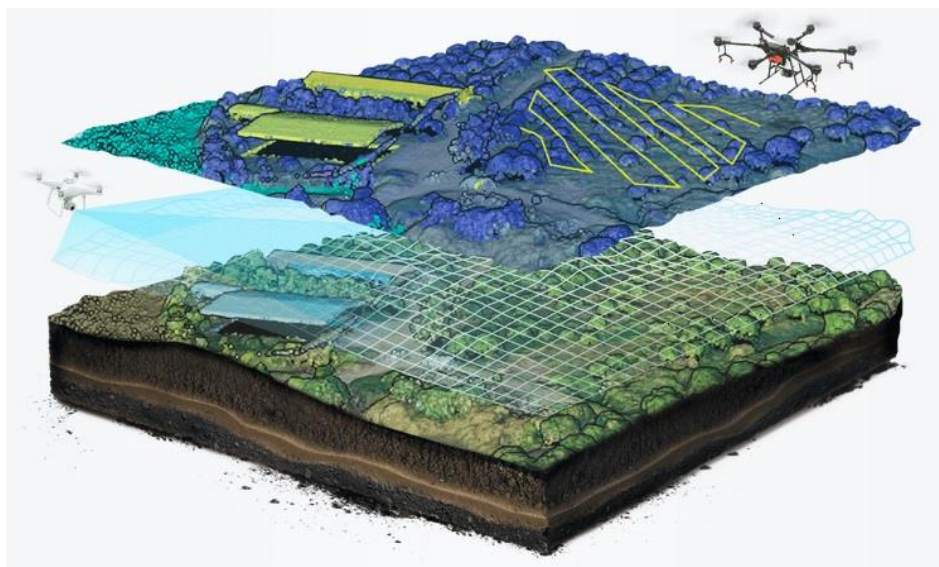


Fig. 30. Exemple del procediment de planificació.

Cal recalcar que aquesta tècnica de planificació en que s'utilitza el DJI Phantom 4 RKT també es podria aplicar en la planificació anterior (planificació de plantacions regulars planes). Tot i així, no es necessari ja que en la planificació anterior el relleu no és un aspecte tant important i amb l'ajuda dels sistemes per evitar col·lisions propi del RPA no fa falta disposar d'un mapa 3D, sinó d'un 2D. Per tant, per tal d'optimitzar el procés i no provocar un sobrecost, només es farà ús en el casos en que el mapa 2D de la zona a fumigar estigui molt desfasat.

c) Planificació per zones

En les dues planificacions anteriors s'ha plantejat l'operació com si el camp de conreu fos una sola unitat, com si es tractés tot de manera igual i la fumigació es fes a tota la superfície. És per això que en aquest apartat plantejarem un nou model de planificació, donant encara més importància i fent més èmfasi a l'agricultura de precisió (comentada prèviament a l'apartat 4.2; Agricultura de precisió). D'aquesta manera, en situacions concretes, s'aconseguirà millorar encara més respecte els mètodes tradicionals.

Per realitzar aquest nou model de planificació per la tasca de fumigació es seguirà utilitzant el DJI Agras T16 que serà el que s'encarregarà de la pròpia tasca de fumigació. Però, a diferència dels models de planificació anteriors, l'operació anirà acompanyada d'un altre RPAS anomenat DJI Phantom 4 Multispectral, RPA de la mateixa família DJI Phantom 4 RTK, amb un disseny idèntic i amb les mateixes característiques, que combinarà la fiabilitat i el fàcil maneig del DJI Phantom 4 RTK amb la integració d'un nou sensor multispectral de 6 càmeres. Les característiques del RPAS són les següents:

- RPA d'alà rotatòria multi-rotor de 4 hèlixs.
- La distància diagonal del RPA és de 350 mm (sense comptar les hèlixs).
- Velocitat màxima de 50 km/h (modo P) i 58 km/h (modo A).
- Altura màxima de 6000 m sobre el nivell del mar.
- Distància màxima de control fins a 7 km.
- Equipat amb sistemes GNSS+RTK.
- Autonomia de la bateria d'uns 27 minuts aproximadament.
- Equipat amb un sensor multispectral de 6 càmeres que cobreix les bandes blau, verd, vermell, cantonada vermell, infraroig proper i RGB (Càmera pròpia del DJI

Phantom 4 RTK que capta els colors primaris a partir dels quals es creen els altres colors).(31)



Fig. 31. DJI Phantom 4 Multispectral.

De la mateixa manera que amb el DJI Phantom 4 RTK, utilitzat bàsicament per realitzar cartografies en 3D prèvies a la fumigació, el DJI Phantom 4 Multispectral també s'utilitzarà abans del DJI Agras T16 en la fase de planificació i servirà bàsicament per recollir informació millorant així la fase posterior de fumigació. En aquest cas, però, l'avantatge que té és que no només proporciona una simple cartografia del terreny tant en 2D com en 3D sinó que també proporciona informació precisa de les plantes, aportant així informació molt important per a que els agricultors prenguin decisions en relació al tractament dels seus cultius.

Per fer-ho, la càmera multiespectral captura l'emissivitat de la llum dels objectes amb cada una de les càmeres i ho analitza per calcular els índexs de vegetació. Els índexs de vegetació generats a partir d'aquests sensors permeten obtenir informació invisible a l'ull humà abans de que la planta pateixi un dany irreversible. El nou model també disposa d'un sensor de llum solar integrat a sobre del RPA per capturar la irradiació solar i realitzar una compensació segons els canvis de llum, per d'aquesta manera maximitzar la precisió de la recollida de dades amb diferents magnituds de llum o diferents moments del dia. (32)

Amb l'ajuda d'aquests sensors, el RPAS és capaç de canviar durant l'operació en temps real la manera d'observar el camp de conreu i permet fer-ho tant amb imatges de vídeo reals (RGB) com amb l'anàlisi preliminar de l'índex de vegetació (NVDI). D'aquesta

manera, es podrà detectar immediatament on és necessari actuar. A més, per a realitzar l'anàlisi posterior, també ofereix imatges NDRE (sigles d'un altre índex de vegetació), ja que proporcionen informació sobre l'estat de la planta en les capes inferiors. D'aquesta manera es pot donar una millor perspectiva dels cultius en etapes avançades on una anàlisi NVDI proporcionaria informació únicament sobre l'estat de la planta en la capa superficial. (33) Per tant, una anàlisi i monitorització continuat del camp de conreu permet tenir el control total del camp, coneixent l'estat de les plantes mitjançant l'anàlisi de la clorofil·la per supervisar el nivell nutricional o l'inici d'una plaga, i evitant així, mitjançant l'aplicació a temps de productes sanitaris, la pèrdua de la collita. (34)



Fig. 32. Imatges reals (RGB) vs imatges de l'índex de vegetació (NDVI).

El procediment per dur a terme aquest procés que està dins la planificació prèvia a fumigar constarà de 4 fases:

- 1) Planificació del vol: De la mateixa manera que es realitza una planificació amb el DJI Agras T16, amb aquest RPA també es requereix realitzar una planificació, per així escollir per quines zones ha de sobrevolar. Aquesta gestió de les dades de vol per la planificació es pot fer amb l'aplicació GS Pro.
- 2) Captura d'imatges: Captura imatges multiespectrals de les àrees seleccionades.
- 3) Anàlisi de dades: Consulta i processa de manera senzilla la informació aèria recollida utilitzant paràmetres específics per plantes.
- 4) Decisió final: Un cop s'ha analitzat, es prendrà una decisió sobre com es realitzarà el tractament i a quines zones es requerirà més o menys líquid. Un cop decidit, serà el moment en que el DJI Agras T16 començarà a fumigar.

Com ja hem comentat prèviament, amb l'ajuda d'aquest RPAS cobra vida encara més el concepte d'agricultura de precisió, ja que mitjançant la informació i la localització concreta de les amenaces, el RPAS et permet que l'activitat correctiva, com per exemple la fumigació, es realitzi només sobre la part de plantació afectada amb el producte pertinent. Per tant, amb l'ajuda d'aquest nou dispositiu no només es millorarà a l'hora de prevenir i actuar amb temps sobre la plantació, sinó que també es podrà fer el seccionament del camp de conreu, fet que permetrà substituir el model anterior on es realitzava una fumigació total i homogènia per una fumigació adequada a cada secció del camp de conreu, provocant una reducció del producte químic a fumigar i, com a conseqüència, reduint costos i riscos.

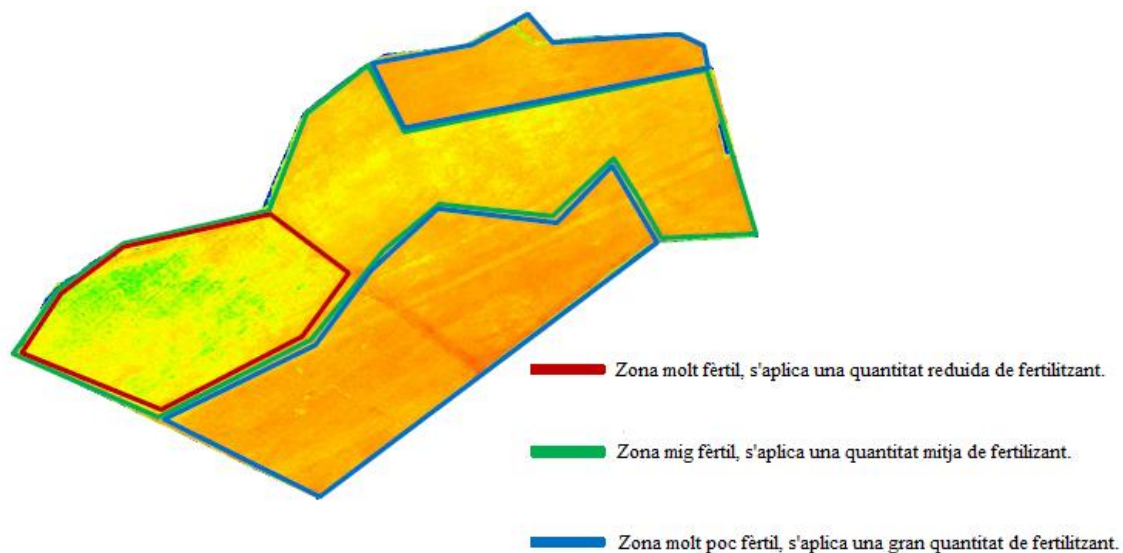


Fig. 33. Anàlisi del camp per sectors o zones.

En aquesta imatge es pot veure un exemple de la divisió del camp per zones. En aquest cas, a cada zona se li aplicaria una quantitat diferent de fertilitzant, i per tant s'hauria de fer 3 planificacions diferents per els RPA que actuessin a cada zona.

Mitjançant l'ús d'aquest RPA també s'aconsegueix mapes 3D de la zona com amb el DJI Phantom 4 RTK ja que incorpora una càmera RGB. Tot i que pugui semblar llavors que el DJI Phantom 4 Multispectral pugui substituir al DJI Phantom 4 RTK, Agrodron considera que són dues formes diferents de planificació i que no són substitutives ja que hi ha una gran diferència en la resolució que ofereix cada un. Això és degut a que mentre la càmera RGB del DJI Phantom 4 Multispectral és de 2 MP, la càmera del DJI

Phantom 4 RTK és de 20 MP. Llavors, tot i que la planificació d'arbres fruiters i boscos es pogués arribar a realitzar amb el DJI Phantom 4 Multispectral, la seva baixa resolució no serà suficient per a realitzar una cartografia igual de precisa que amb el DJI Phantom 4 RTK per a que DJI Agras T16 realitzi una fumigació òptima amb informació centimètrica de les copes dels arbres. Per tant, finalment cal recalcar que Agrodron, en la majoria dels seus serveis, tot i que siguin en camps uniformes, utilitzarà aquest nou RPA per així evitar la pèrdua de collites. Serà només en els casos de fumigació d'arbres (tant fruiters com boscos) on no ho farà o ho farà de manera complementaria.

7.2.2. Planificació del nombre de RPA necessaris

Com ja hem comentat prèviament, un altre aspecte important a destacar és saber quants vehicles aeris no tripulats són necessaris per a realitzar l'operació de fumigació de manera òptima en relació al temps, per tant, entenem com a sistema més òptim en aquest cas com el més ràpid. Encara que potser el sistema amb un únic RPA ja sigui més òptim que el mètode tradicional (fet que comprovarem més endavant), mitjançant la combinació de diversos vehicles es pot aconseguir reduir de manera molt considerable el temps d'operació.

De cara a determinar quina és la millor manera d'organitzar l'operació s'ha de tenir en compte dos aspectes. El primer és que cada comandament a distància és capaç de realitzar el control i la supervisió de 5 vehicles. És per aquesta raó que la majoria de les operacions s'intentaran fer amb un màxim de 5 RPA, que utilitzin les mateixes instal·lacions, degut a que l'ús d'un RPA més comportarà la instal·lació d'un altre comandament i consegüentment, l'increment del cost en realitzar l'operació ja que es requerirà de més personal i de nou material, duplicant quasi el cost d'operació. En segon lloc, cal tenir en compte també que segons les dades del fabricant cada RPA té una capacitat operativa de 10 HA per hora. Per tant, si la tasca a realitzar per exemple fos de 50 HA, un RPA en teoria hauria d'aconseguir fer la tasca en 5 hores.

Agrodron, però, tot i que té en consideració aquests dos aspectes explicats prèviament, és fixarà principalment en les restriccions de la normativa a l'hora de decidir quants vehicles utilitzar. La normativa, comentada anteriorment, permet l'ús dels RPAS sempre i quan estigui dins de la visió del pilot (VLOS), o d'observadors que estiguin en contacte permanent per ràdio amb aquell (EVLOS), a una distància horitzontal del pilot

o dels observadors no major de 500 m i una altura sobre el terreny no major de 400 peus (120 m), o sobre el obstacle més alt situat dins d'un radi de 150 m des de l'aeronau. Llavors, és per això que es fixarà en 100 HA el límit en que s'haurà d'utilitzar un nou comandament ja que es considera que a partir d'aquesta superfície les distàncies màximes serien massa grans inclús amb observadors. Cal recalcar però, que la distància màxima no només dependrà de la superfície del camp de conreu, sinó també de la forma i de la col·locació del centre de control. Per tant, la distribució del nombre de RPA a utilitzar de l'empresa Agrodrona serà orientativa ja que vindrà donada segons la superfície de les parcel·les i segons la localització del centre de control, pensant en que cada operació es realitzarà amb dues hores aproximadament:

0-20 HA	1 RPA= MÀX. 2 HORES APROX
20-40 HA	2 RPA= MÀX. 2 HORES APROX
40-60 HA	3 RPA= MÀX. 2 HORES APROX
60-80 HA	4 RPA= MÀX. 2 HORES APROX
80-100 HA	5 RPA= MÀX. 2 HORES APROX
100+ HA	ÚS D'UN NOU COMANDAMENT

Fig. 34. Taula del nombre de RPA necessaris.

Finalment, per a realitzar l'operació de fumigació amb més d'un vehicle aeri simplement s'ha de planificar el recorregut dividint el espai a fumigar en tantes parts com el nombre de vehicles aeris de que es disposa, i, encara que estiguin totes controlades per el mateix comandament i surtin del mateix lloc d'inici, cada RPA realitzarà únicament la fumigació d'aquella parcel·la en concret.

7.3. Procés de fumigació

Per a realitzar la tasca de fumigar a través de vehicles aeris, com ja hem comentat prèviament, és necessària realitzar una planificació. Un cop realitzada la planificació l'únic que s'haurà de fer és preparar tot i posar el RPA en marxa. En qualsevol operació amb RPAS serà necessari un mínim de dues persones: un pilot certificat i un assistent en terra. En primer lloc, el pilot serà el que s'encarregarà de realitzar tant la planificació prèvia com el control constant del RPA i serà el màxim responsable en cas d'incidència. En segon lloc, el assistent en terra, mentre el pilot estigui realitzant la planificació, serà l'encarregat de preparar tot lo necessari per a realitzar l'operació així com el calibratge i la supervisió dels vehicles, la preparació del líquid, etc. A més, un cop ja el RPA estigui volant, serà l'encarregat de realitzar tant els canvis de bateries com la reposició de líquid fumigador. Cal destacar que el nombre de persones necessàries variarà segons el nombre de vehicles aeris utilitzats, i per tant, en gran mesura, del nombre d'hectàrees a fumigar. (35)

Per a dur a terme el procés de fumigació mitjançant un RPAS es requerirà de les següents coses:

- El propi vehicle RPA (DJI Agras T16).
- RPA opcional per a cartografiar (DJI Phantom 4 RTK o DJI Phantom 4 Multispectral).
- Ordinador portàtil amb el software per a realitzar la planificació (DJI Terra).
- Bateries.
- Carregadors de bateries d'alta velocitat.
- Dipòsits de líquid de 16 L del RPA.
- Contenedors de 100 L per a realitzar la barreja de líquid fumigador.
- Mesuradors per a realitzar la barreja
- Bombes de líquid elèctriques per a omplir el dipòsit del RPA.
- Generador d'energia elèctrica.

Per tant, com s'ha pogut deduir, el procés de fumigar està dividit en dos parts: la planificació de l'operació (apartat previ) i la realització i la supervisió del propi procés. En aquest apartat parlarem de com l'aparell realitza el procés de fumigació i de les diferències qualitatives que hi ha entre la tècnica que estem proposant i les tècniques

que s'usen normalment a l'agricultura tradicional. Per realitzar la comparació agafarem el tractor/màquina polvoritzadora de barra com a eina principal.

a) Millora en la precisió de la dispersió

Per a realitzar la tasca de fumigació el RPA realitza el vol a una altura d'entre 1,5 m i 3,5 m respecte l'altura de la plantació. En quant al seu funcionament, un dels primers aspectes a comparar és com el vehicle aeri realitza la dispersió del líquid. Per fer-ho, està equipat amb 4 bombes per a donar potència a l'hora d'expulsar el líquid i amb 8 sortidors situats de dos en dos sota de 4 de les 6 hèlixs. El fet de que els sortidors estiguin situats sota de les hèlixs facilita la feina de dirigir el líquid ja que la força generada per les hèlixs crea un circuit d'aire que fa més eficient la dispersió del líquid, dirigint-lo directament cap a la plantació amb un diàmetre de polvorització de 6,5 m mentre es mou a 7 m/s.(28)



Fig. 35. Circuit d'aire creat per el RPA.

El principal avantatge que provoca el circuit d'aire és la direccionalitat del líquid. Gràcies a aquesta direccionalitat, la pèrdua per deriva que es produeix en la fumigació mitjançant tractors, en la qual la força del vent s'emporta una gran part de la substància fumigadora, es redueix en un alt grau, i passa a ser nul·la o pràcticament nul·la. Per tant, el primer avantatge respecte a la fumigació mitjançant tractors, serà que amb la fumigació amb RPA el líquid va directe a la plantació, fet que provoca una reducció en costos ja que es reduirà la quantitat de líquid a utilitzar i una millora mediambientalment parlant (anàlisi realitzat més endavant en l'apartat 7.6; "Anàlisi de

les conseqüències sobre el medi ambient”). A més a més, per una altra banda, el circuit d’aire creat també permet arribar a les fulles més baixes de la planta, realitzant una fumigació completa a totes les capes de la plantació.



Fig. 36. Pèrdua per deriva d’una màquina fumigadora de barra.

b) Millora en la distribució del líquid

La segona diferència està relacionada amb l’homogeneïtzació del camp de conreu i té molt a veure amb la primera. Gràcies a la tecnologia RPAS es permet tractar el camp de conreu de manera uniforme, ja que fàcilment es pot distribuir la mateixa quantitat de líquid fumigador a tot el camp de conreu. Per una altra banda, el tractor i la seva manera de distribuir el líquid (sumat a la pèrdua per deriva) provoquen una desigualtat del grau de fumigació de cada zona del camp de conreu. A més a més, com ja hem comentat prèviament, la planificació de la fumigació amb RPA és un procés automatitzat, realitzat per un ordinador i amb una precisió centimètrica, per tant, al estar programat per a fumigar tot el terreny, és quasi impossible que no realitzi la fumigació d’una part. En canvi, mitjançant el tractor, el tant per cent d’error és més elevat i és més possible que es deixin parts del camp de conreu sense fumigar ja que no es planifica la tasca i hi intervé el factor humà, que en aquest cas, es menys fiable, ja que té una precisió menor en quant al sentit de l’orientació.

Una altra millora de la tecnologia RPAS que també permet la homogeneïtzació del camp de conreu és el fet de que es pot controlar de manera molt detallada el procés de fumigació en temps real. Per tant, es pot apagar o activar els distribuïdors de líquid en qualsevol instant o activar només els sortidors d’una banda, d’aquesta manera s’evitarà

per exemple que zones es fumiguin dos cops encara que el RPA passi dos cops sobre aquella zona. En canvi, mitjançant el tractor fumigador amb barra, els sortidors funcionen tots simultàniament i no es poden activar per zones, fet que provocarà que potser algunes zones quedin sobrecarregades i amb més dosis de la necessària.

c) Optimització de l'espai

La tercera diferència qualitativa és que gràcies al RPA s'optimitza al màxim la utilització del terreny, ja que no fa falta deixar espai per al tractor. Per tant, en primer lloc, en el cas d'una plantació que sigui d'arbres fruiters o plantes d'altura, només caldrà deixar l'espai necessari per a que els arbres creixin correctament i no farà falta l'espai per a que el tractor passi entre ells. En segon lloc, en plantacions uniformes de baixa altura, al no utilitzar el tractor no haurà de passar cap màquina per sobre les collites, i per tant, no es farà malbé la part de les plantacions que quedaria sota la roda optimitzant així també el màxim possible del camp.

Encara que a simple vista pugui semblar que les rodes del tractor destrossen una part mínima del camp de conreu, si analitzem una mica el fet, podem veure com un petit canvi així pot fer augmentar la productivitat, i, a més, no només destrossen la part de la collita que queda sota la roda sinó que també pot arribar a destrossar la que queda sota al tractor o al seu voltant.

Per exemple, tenint en compte les següents dades:

- Ample de la roda 16,9 R34¹⁰ d'un tractor estàndard: 0,42 m (42 cm). (36)
- Distància de la barra que s'utilitza/ample de fumigació: 15 m.
- Distància a recórrer: 100 m
- Superfície que cobreix/superfície fumigada: $100\text{ m} * 15\text{ m} = 1500\text{ m}^2$ (15% d'una hectàrea).
- Superfície trepitjada únicament per les rodes (distància a recórrer x ample de la roda x nombre de rodes que afecten): $100\text{ m} * 0,42\text{ m} * 2\text{ rodes} = 84\text{ m}^2$.

Com es pot observar, contant únicament els danys que causen les rodes i no els que causen a les plantacions que passen per sota del tractor o a les plantacions del voltant de les rodes, en una distància recte de 100 m, cobrint només una superfície fumigada de

¹⁰ Tipus de roda bastant utilitzada

1500 m² es fan malbé 84 m² ($\frac{84}{1500} = 0,056$ o 5,6% de la part recorreguda). Per tant, en una plantació de 10 HA es faran malbé 5600 m² aproximadament ($100000 \text{ m}^2 * \frac{84}{1500} = 5600 \text{ m}^2$), xifra que representa més de mitja hectàrea. Tenint en compte que la mitja de producció espanyola de cereals és de 2,26 T/HA al 2018 (37), la quantitat perduda únicament en una plantació de 10 HA és força important ($0,56 \text{ HA} * 2,26 \frac{\text{T}}{\text{HA}} = 1,26 \text{ T}$).



Fig. 37. Marca de les rodes del tractor que provoquen una pèrdua de la collita.

d) Millora en la mobilització

En quart lloc, hi ha una altra diferència qualitativa que, com l'anterior, està molt relacionada també amb l'espai. Aquesta diferència és que gràcies als RPA i al seu sistema que els permet volar, és més fàcil accedir a camps de conreu o a llocs on difícilment es podria accedir amb un tractor degut al relleu com per exemple petites zones separades on amb un tractor seria difícil maniobrar degut a la llargada de la barra o conreus situats en muntanyes o amb pendents molt pronunciades. Com hem comentat prèviament, aquestes irregularitats en el terreny no comportaran cap problema gràcies tant als sistemes i radars que incorpora el DJI Agras T16 com a la prèvia planificació que es realitza amb imatges precises.

A més, l'ús dels RPAS en comparació amb el tractor de barra també aporta millores en mobilitat en altres situacions o sota altres condicions específiques. Algunes d'aquestes situacions és, per exemple, que és més fàcil la mobilitat en camps de conreu en que acabi de ploure degut a que mitjançant el tractor és més difícil desplaçar-se a causa de

l'aigua acumulada (inclús amb el RPA es pot realitzar la fumigació mentre plou) o per exemple, en camps d'arròs, on l'aigua també hi intervé i dificulta l'operació.

e) Millora en la qualitat del producte i seguretat

Una altra benefici que aporta aquest sistema és una millora en la qualitat del producte. La millora en la distribució del líquid ja comentada sumat a que gràcies a l'anàlisi previ realitzat amb algun dels RPA de la família Phantom 4, només fan falta realitzar aplicacions de líquid fumigador en les zones afectades, provoca una reducció en gran mesura del nombre d'aplicacions durant una rotació sobre una plantació. Aquest fet, no només òbviament aportarà una reducció en costos en relació al líquid fumigador i a l'aigua utilitzada, sinó que també beneficiarà a la qualitat del producte final, ja que s'haurà vist sotmès a menys productes químics i no s'haurà sobrecarregat, obtenint així un producte final més natural i valorat.

Finalment, cal recalcar que el servei de fumigació amb RPA és un servei que ofereix seguretat, gràcies a un sistema fiable i no involucra directament a les persones. A més a més, és un sistema fàcilment emmagatzemable i transportable, facilitant així la mobilitat fins a qualsevol lloc per tal de realitzar operacions de fumigació.

7.4. Anàlisi del temps d'operació

En aquest apartat es realitzarà una anàlisi per veure el temps que tarda un RPAS en completar el procés de fumigació d'un camp de conreu i també el temps que tarda en realitzar el mateix procés una màquina fumigadora. D'aquesta manera podrem comprovar l'eficiència del sistema en comparació amb d'altres sistemes tradicionals i veure quin és el sistema que permet realitzar la mateixa tasca en menys temps.

Per fer-ho, es proposarà un model d'un camp de conreu fictici d'una plantació uniforme i de baixa alçada (menys de 2 m) com per exemple una plantació de cereals (blat), sense cap tipus de obstacle a mig de la plantació. El camp tindrà forma rectangular, tindrà 10 HA i els seus costats seran de 400 m x 250 m, així es podrà veure realment quina és la tècnica més ràpida sota les mateixes condicions. S'agafarà aquestes mides i aquest tipus de conreu ja que a Catalunya la majoria dels camps de conreu no són de grans dimensions i, per una altra banda, el cereal és un dels conreus més típics de Catalunya. (Justificat a l'apartat 6.3, característiques dels possibles clients)

7.4.1. Temps del RPA

a) Característiques del RPA

Prèviament a la comparació s'ha de tenir en compte les característiques principals del RPAS, ja comentades, que afecten directament al temps que tardarà i a la seva eficiència. Per tant, cal conèixer alguns aspectes com la capacitat del tanc, la velocitat, la capacitat de fumigació i aspectes relacionats amb la seva bateria:

- Tanc amb una càrrega de 16 L (situat al centre).
- Diàmetre de polvorització màxim de 6,5 m.
- Rang de polvorització: 0,45 - 4.8 L/min.
- Pot estar realitzant un vol estacionari durant 18 minuts si el pes d'enlairament és inferior de 24,5 kg, i durant 10 minuts si és inferior a 39,5 kg.
- Càrrega completa de la bateria en 20 minuts.
- Es poden carregar fins a 4 bateries simultàniament.
- Velocitat màxima de vol durant el treball (procés de fumigació) de 7 m/s.
- Velocitat màxima de vol de 10 m/s

b) Limitacions del sistema

Per una altra banda, també cal conèixer quines són les limitacions que pot tenir el RPAS a l'hora de realitzar les operacions, ja que poden repercutir de manera important a l'hora de realitzar la fumigació i, per tant, en el seu temps. Les seves dues principals limitacions són la capacitat del tanc de líquid fumigador i l'autonomia del RPA. Tant la capacitat del tanc com la duració de la seva bateria impedeixen al RPA realitzar una tasca de manera constant durant molt de temps i és aquí on apareix el principal desavantatge d'aquest sistema respecte al de la màquina fumigadora.

En primer lloc, segons el fabricant, la bateria i la seva durabilitat provoquen una limitació en la realització de la tasca de fumigació durant un temps seguit aproximat màxim de 10-12 minuts (pot estar realitzant un vol estacionari durant 18 minuts, si el pes de enlairament és inferior de 24,5 kg, i durant 10 minuts si és inferior a 39,5 kg). Això és degut a que el pes del RPA és inicialment de 39,5 kg (18,5 kg del propi RPA, 5 kg de la bateria i 16 kg de líquid al tanc¹¹) però a mesura que va deixant anar líquid fumigant, el pes va disminuint i el RPA no ha de fer tant esforç per aconseguir la sustentació, allargant així la vida de la seva bateria, ja que la duració de la bateria té la forma d'una funció exponencial creixent. Tot i això, aquest problema es pot solucionar ja que el sistema RPA té un control propi de la seva bateria i a més, el sistema disposa de memòria i de sistemes de posicionament, per tant, quan s'està a punt d'acabar, automàticament el RPA té la capacitat d'aturar la tasca i de dirigir-se al punt d'inici de l'operació per realitzar el canvi de bateria. Un cop realitzat, gràcies a la memòria, el RPA també és capaç de tornar a la posició en que ha deixat de fumigar per continuar la seva tasca des de aquell punt.

En segon lloc, la segona limitació que té el RPAS és la capacitat del seu tanc. Actualment la capacitat del tanc del DJI Agras T16 és de 16 L. Tot i això, en aquest cas, a diferència de la bateria, serà més difícil determinar la duració del líquid fumigador ja que dependrà principalment de la velocitat amb que expulsi el líquid o, dit d'una altra manera, de la quantitat de líquid que expulsi per hectàrea (rang de polvorització: 0,45 - 4.8 L/min). Així mateix, el rang de polvorització dependrà del tipus de fumigació o de líquid que es llenci (fertilitzant, herbicida, insecticida, fungicida, etc) i del tipus de conreu/plantació en que s'estigui realitzant.

$$- \text{ Duració utilitzant el rang de polvorització màxim} = \frac{16 \text{ L}}{4,8 \text{ L/Min}} = 3,33 \text{ Min} = 3'20''$$

¹¹ 1 kg = 1 L, per tant la carga del dipòsit és de 16 kg.

- Duració utilitzant el rang de polvorització mínim = $\frac{16 L}{0,45 L/Min} = 35,55 Min = 35'33''$

Com es pot apreciar, els càlculs sobre la duració del tanc poden ser molt variables. Cal recalcar però, que al igual que amb la bateria, el sistema RPA monitoritza en tot moment la quantitat de líquid restant que hi ha i té la capacitat també d'aturar l'operació i dirigir-se cap la localització inicial per a realitzar un reposament de líquid. Un cop acabat el reposament, el RPA tornarà a la posició on ha abandonat prèviament l'operació continuant-la des d'allà.

c) Hipòtesis

A l'hora de calcular el temps que tardaria el nostre RPAS a recórrer i fumigar tota la plantació de cereals que hem plantejat s'ha de tenir en compte que el temps pot variar segons la manera en que es realitzi la planificació. Per tant, podríem dir amb certesa que el temps d'operació dependrà en gran part dels diferents paràmetres que se li doni al RPAS, com, per exemple, la seva velocitat, l'altura de vol, el rang de polvorització, etc.

En quant a la decisió d'aquests paràmetres per a realitzar l'anàlisi, s'agafaran els paràmetres comunament més usats en les operacions o proves ja realitzades amb altres RPAS en territoris com per exemple la Xina, Mèxic, i sobretot, Espanya¹², combinat amb alguns altres paràmetres que recomana el fabricant (d'aquesta manera veurem també si la capacitat òptima de 10 HA per hora que proposa el fabricant és certa i el nostre resultat és semblant). Així mateix, es formularan també hipòtesis pròpies sobre els paràmetres i de com es realitzaria segons les característiques concretes del camp de conreu formulat, obtenint així un exemple/model òptim i propi sobre la fumigació d'un camp típic i estàndard de Catalunya.

Per tant, cal recalcar que el temps de fumigació de 10 HA serà aproximat, i que a part dels paràmetres interns del RPA, com els ja mencionats, que poden fer variar l'operació, també poden haver-hi variables externes que afectin, com ara el vent, l'error humà, el temps que tarda en la realització d'algunes tasques (canvi de bateries), etc. A continuació, s'explicaran tots els valors dels paràmetres que s'utilitzaran per a la realització d'aquest exemple i s'explicarà el motiu pel qual s'han escollit aquests valors.

¹² Obtinguts d'empreses comercialitzadores del DJI Agras T16.

- **Hipòtesis generals.**

1. Es realitzarà el càlcul del temps tenint en compte que ja es disposa del mapa i de l'operació planificada, ja que en aquest estudi es vol comparar només el temps d'operació. Per tant, no es contarà el temps que tardaria el DJI Phantom 4 RKT en adquirir una cartografia de la zona en el cas que no es disposés de mapa 2D per realitzar l'operació o que l'operació requereís de mapa 3D (Ex: Fumigació d'arbres on el relleu adquireix importància) .Tampoc es tindrà en compte el temps que es tardaria en descarregar tots els aparells necessaris i en preparar-ho tot per a l'operació. Així mateix, tampoc es contarà el temps requerit per a realitzar les tasques de preparació de la fumigació amb tractor com per exemple el temps que es tarda en omplir el dipòsit, el temps de calibratge dels sortidors, el temps en realitzar el propi manteniment posterior a la operació, etc.
2. Es requerirà únicament un pilot i un assistent en terra (superfície petita).
3. L'operació es realitzarà amb condicions meteorològiques normals. Tot i que es pugui operar amb RPAS sota qualsevol condició, ja que el vehicle està preparat per volar sota pluja o amb vent, no és recomanable fer-ho degut a que la fumigació que es realitzarà sota aquestes condicions no serà productiva i la majoria del líquid fumigador no arribarà a la plantació per culpa de la pèrdua per deriva provocada pels forts vents o per la pluja. Per tant, segons un dels socis de l'empresa Drones en Zaragoza, que és una de les poques empreses espanyoles que es dedica a la fumigació amb RPAS, amb vents de més de 15 km/h no és aconsellable la realització d'operacions.

- **Hipòtesis sobre els valors dels paràmetres del RPA.**

1. Velocitat en fumigació: El RPA per al seu funcionament utilitzarà una velocitat de 6 m/s, tot i tenir una velocitat màxima de 7 m/s. Aquesta velocitat és la recomanada pel fabricant. Cal recalcar que a menys velocitat menys rang de polvorització (líquid per minut) cal utilitzar, ja que la velocitat del RPA fa més imprecisa la distribució del líquid.

2. Velocitat sense fumigació: Aquesta velocitat s'utilitzarà quan l'aeronau pari la seva missió planificada per a realitzar un canvi de líquid o bateria i hagi de tornar al seu lloc inicial. La velocitat utilitzada serà de 10 m/s.
3. Altura: El RPA volarà a una altura de 2 m per sobre de la plantació (capacitat de volar entre 1,5 m i entre 3,5 m).
4. Diàmetre de polvorització: S'utilitzarà el diàmetre de polvorització màxim que es de 6,5 m, ja que és l'òptim segons el fabricant quan el RPA es situa a una distància de 2 m per sobre de la plantació uniforme com seria la de cereals. Si, en canvi, la plantació no fos uniforme i hi haguessin espais entre cada línia de plantes (distribució en carrils), com per exemple en la plantació de vinyes, s'hauria de reduir el rang a l'amplada de la planta.
5. Velocitat de polvorització: La velocitat de polvorització dependrà en gran mesura de les peticions de l'agricultor o, dit d'una altra manera, del tipus de producte fitosanitari a aplicar i del tipus i estat de la plantació. Per exemple, no serà el mateix aplicar un herbicida (producte comunament més utilitzat) que un fungicida, ja que aquest segon requerirà de més quantitat de líquid degut a que ha d'arribar a totes les parts de la planta (rarament utilitzat)¹³. Cal recalcar però, que la decisió sobre aquest valor tindrà una gran influència sobre el temps total de l'operació ja que serà el que determinarà el moment en que s'ha de fer una parada del RPA per reposar líquid.

Sobre el camp de conreu proposat, es realitzarà una fumigació d'herbicides, ja que com hem comentat prèviament, és l'operació més comuna. De cara a l'exemple, el valor escollit serà un valor intermedi. A més, també es tindrà en compte les recomanacions fetes per empreses del sector que comercialitzen i operen amb RPAS en l'agricultura¹⁴. Segons aquestes empreses, les velocitats de polvorització més utilitzades en la majoria d'operacions i sobretot amb herbicides són d'entre 2 L/min i 3 L/min, realitzant aproximadament un canvi de

¹³ Informació obtinguda gràcies a Juan Carlos Pandiello Dutrey, soci de l'empresa Drones en Zaragoza, que és una de les poques empreses espanyoles que es dedica a la fumigació amb RPAS.

¹⁴ Dades proporcionades per quatre empreses comercialitzadores/operadores del DJI Agras T16: Hobbytuxla (Mèxic), El Vuelo del dron (Madrid), ATyges (Màlaga) i Drones en Zaragoza (Zaragoza).

dipòsit cada 1,5 HA i fumigant d'aquesta manera un valor aproximat de 10 L/HA. A l'hora de decidir una velocitat concreta (que estigui dins del rang que sol·licita l'agricultor, que en el nostre cas serà entre 2 L/min i 3 L/min) també es tindrà en compte les característiques del camp, així com les seves mesures, i s'intentarà que el lloc on pari el RPA estigui a prop del centre de control o base on es realitzaran els canvis de líquid, per així minimitzar el temps en el que el RPA no està operant. Per tant, la velocitat de fumigació escollida serà de 2,4 L/min (10 L/HA). Cal destacar que també s'han realitzat operacions amb valors inclús menors (Exemple Xina, amb el RPAS antecessor DJI Agras MG- 1P : 1,8 L/min). (38)

- **Hipòtesis sobre factors operatius:**

1. Bateria: Tindran una duració d'entre 10 i 12 minuts. L'autonomia de les bateries està subjecte a l'esforç que fa el RPA per aconseguir la sustentació, i per tant, ve molt relacionada amb el relleu i la inclinació del terreny ja que això li requerirà més esforç i per tant més despesa d'energia. En aquest cas com hem plantejat un terreny sense pendent, la duració serà la màxima possible.
2. Ubicació del centre de control: El punt inicial del centre de control, i des d'on es realitzarà el canvi de bateries i de líquid, estarà situat, a ser possible, al punt mig del camp de conreu (fig.38), d'aquesta manera, des d'aquest punt, la distància al punt més llunyà del camp serà la més petita respecte a qualsevol altre ubicació. De no ser possible, per les característiques del camp de conreu, es situarà el centre de control al punt mig d'un dels costats (normalment del costat més llarg), ja que d'aquesta manera també es reduirà la distància a recórrer que haurà de fer el vehicle quan hagi de fer canvi de bateria o reposar líquid (fig.39).

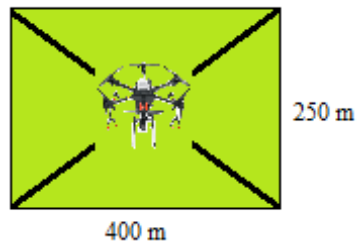


Fig. 38. Situació 1.

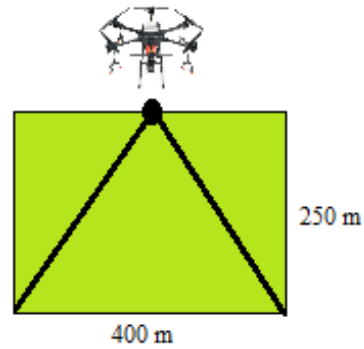


Fig. 39. Situació 2.

En el cas a estudiar, però, s'agafarà la pitjor situació possible ja que es col·locarà el centre de control en el punt on les distàncies són les més llargues possibles, augmentant així el temps final. Per tant, estarà situat a un dels 4 vèrtexs. Aquesta localització del punt de control però, s'utilitzarà únicament en el cas en el que l'accés en el camp de conreu sigui per una de les seves cantonades.

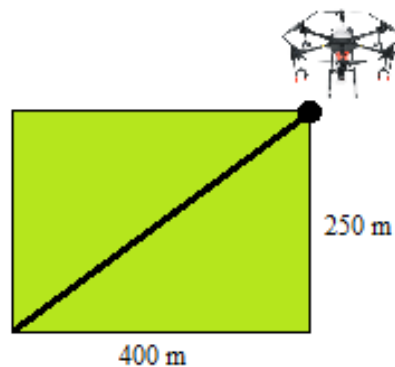


Fig. 40. Pitjor situació.

D'aquesta manera, la distància màxima respecte cada situació serà la següent:

- Situació 1 (al mig del camp de conreu): $D^2 = 200^2 + 125^2$, $D = 235,85 \text{ m}$.
- Situació 2 (al punt mig del costat més llarg): $D^2 = 200^2 + 250^2$, $D = 320,15 \text{ m}$.
- Situació escollida per a l'exemple (vèrtex): $D^2 = 400^2 + 250^2$, $D = 471,70 \text{ m}$ (compleix la normativa de mantenir-se a menys de 500 m de la vista del pilot).

3. Centre de control fix: En aquest exemple, i en la majoria d'operacions, el centre de control serà un punt fix i no s'acostuma a canviar durant l'operació, ja que el fet de canviar-lo suposa la realització d'una nova planificació i la mobilització de tot el material i, per tant, una pèrdua de temps. És per això que el canvi del centre de control mitjançant una nova planificació només serà òptim en grans parcel·les, on, per exemple, per culpa de la normativa no es pugui realitzar la fumigació en certs punts.
4. Minimització dels girs: A l'hora de planificar el recorregut que farà el RPA s'ha de tenir en compte la minimització dels girs, ja que és en els girs on es produirà una pèrdua de temps¹⁵. És per això que les "S" es realitzaran recurrent sempre el costat llarg i els girs es faran sobre el costat més curt (el programa que estableix el pla de vol del RPA ja ho fa automàticament a l'hora de planificar l'operació). Cal recalcar però, que en aquest estudi no es tindrà en compte el temps que perd el RPA en la realització dels girs sinó que es farà com si el RPA fumigués a 6 m/s constants ja que es considera que el temps dels girs són pràcticament menyspreables respecte al temps total de l'operació. Per tant, tot i que amb les mateixes circumstàncies en una operació real es traçarien línies constants de 393,5 m (400 m – 3,25 m per cada costat¹⁶) i seria llavors quan es produiria un gir, per així també fumigar en els recorreguts de 6,5 m d'entre les línies paral·leles, en aquest exemple, es farà com si els girs/canvis de sentit no existissin i es tracessin línies de 400 m.
5. Simultaneïtat en el canvi: A l'hora de realitzar el canvi de bateria i la reposició de líquid es farà de manera sincronitzada. D'aquesta manera ens estalviarem una gran quantitat de temps ja que el RPA només haurà d'anar al lloc inicial i tornar un cop pels dos canvis i no un cop per cada canvi. El factor que determinarà el moment de fer el canvi simultani serà la reposició del líquid degut a que el temps de la duració de la bateria és superior.

¹⁵ En operacions reals per tant, no serà el mateix fumigar una àrea de 1000 x 10 que de 400 x 250, tot i que les dues tinguin 10 HA.

¹⁶ Les traçades serien de 393,5 m degut a que en les operacions reals s'acostumen a aprofitar també els girs (distància entre les "S" paral·leles) per fumigar, per tant, tenint en compte que el ample de fumigació és de 6,5 m (3,25 per cada costat del RPA), el RPA es pot quedar a 3,25 m del final del costat en que fa el gir.

$$\text{Duració del líquid} = \frac{16 \text{ L}}{2,4 \text{ L/min}} = 6.66 \text{ min} = 6'40'' = 400''.$$

Duració de la bateria: Entre 10 i 12 minuts.

Per tant, cada cop que s'acabi el líquid, encara que la bateria no s'hagi esgotat del tot, es realitzarà també un canvi de bateria, ja que no seria òptim i es convertiria en una pèrdua de temps el fet d'haver de realitzar un altre canvi al cap de pocs minuts. Per tant, com a temps mínim i no tenint en compte el temps en arribar al lloc inicial, el temps de canvi serà cada 6' 40''.

6. Canvi de bateria i reposició de líquid: A l'hora de canviar la bateria o el líquid s'han de tenir en compte dos aspectes: el temps que tarda la persona en realitzar el canvi i el total de temps que tarda el RPA en arribar al punt inicial i tornar al punt on s'havia quedat per continuar l'operació. Per tant, el temps total serà: Temps que tarda el RPA en arribar a la zona inicial + temps de canvi de bateria + temps que tarda en tornar al mateix punt on havia parat el procés.
7. Temps en realitzar el canvi de bateria o substitució de líquid: Es partirà de que el procés de canvi de bateria i líquid es pot realitzar fàcilment ja que amb el disseny del DJI Agras T16 ambdues coses estan situades al centre i es poden canviar sense desmuntar cap part des de la part superior. Per tant, segons el criteri d'algunes empreses del sector¹⁷, el temps de canvi de bateria i de líquid anant a la llarga¹⁸ serà de 30 segons cada procés.
8. Temps que tarda el RPA en tornar al lloc inicial per recarregar: Aquest temps és molt variable ja que dependrà del lloc on el vehicle es quedi sense líquid. Tot i això, com ja hem comentat, quan el RPA no estigui fumigant, podrà desplaçar-se a una velocitat de 10 m/s.

Amb la velocitat de fumigació escollida (2,4 L/min), i tenint en compte la hipòtesis de que les traçades són de 400 m i no es tenen en compte els girs,

¹⁷ Dades proporcionades per dues empreses comercialitzadores del DJI Agras T16: Hobbytuxla (Mèxic) i El vuelo del dron (Madrid).

¹⁸ Tot i que segons les empreses el temps de canvi pot oscil·lar entre 10 i 30 segons, s'agafarà el valor més gran. Així si es comet error que sigui per excés.

aconseguirem que el líquid del RPA s'acabi just a sobre del costat més curt. Ja que si tenim en compte que fumiga durant 6'40" i que les "S" es fan recurrent el costat llarg a 6 m/s, el RPA recorrerà 2400 m (múltiple de 800), fet que significarà que el RPA torni al costat des del qual ha començat l'operació. Cal recalcar però, que en una operació real el líquid s'acabaria a la meitat del gir a una distància concreta de 3,25 m del costat més curt

9. En aquest estudi, s'obviarà el temps que tarda el RPA en realitzar l'aterratge i l'enlairament a l'arribar o marxar del punt inicial ja que es considera que els temps són pràcticament menyspreables respecte al temps total de l'operació. Per tant, el temps d'arribar a la zona inicial i de tornar al punt on s'havia deixat la fumigació es considerarà (raonablement) que serà el mateix.
10. Quantitat de bateries: Per a realitzar l'operació es necessitarà un mínim de 5 bateries per vehicle juntament amb un carregador d'alta velocitat que et permeti carregar fins a 4 bateries simultàniament. La velocitat de càrrega de cada bateria serà de 20 minuts en mode de càrrega ràpid i es requerirà tenir les 4 bateries restants carregades per a l'inici de l'operació. Amb l'ajuda d'aquestes 5 bateries es crearà el següent circuit o cicle en el que hi ha tres estats: bateria utilitzant-se (color blau), bateria carregant-se (color vermell) i bateria disponible o de recanvi ja carregada (color verd). D'aquesta manera hi haurà una bateria de recanvi per si la que s'hagués d'utilitzar tingués algun problema i les bateries no es sobreescalfaran tant.

	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10
Bat.1										
Bat.2										
Bat.3										
Bat.4										
Bat.5										

Fig. 41. Cicle de canvis de bateries.

En el cicle de bateries creat, els intervals tindran una duració del temps que transcorri entre els canvis de bateria. Per tant, aquest temps serà el sumatori del

temps de canvi del líquid i de la bateria (30'' + 30''), del temps de tornar al punt on s'havia parat l'operació (variable), del temps de la duració del líquid (6' 40'') i del temps d'anar de nou al punt inicial (variable). Per tant, obviant els dos temps variables, com a mínim els intervals duraran 7' 40''.

Tenint en compte l'últim valor, podem afirmar que el temps transcorregut durant 3 intervals serà superior a 20' ($3 * 7' 40'' = 23'$), i que, per tant, hi haurà suficient temps per a carregar una bateria cada 3 intervals. Mitjançant aquest sistema, sempre es disposarà de dues bateries carregades i no farà falta parar la tasca i esperar al carregament d'alguna de les bateries. A més, al tenir dues bateries totalment carregades en cada final d'interval, no hi haurà el risc de parar l'operació en cas de que hi hagués una fallada amb alguna de les bateries, ja que es disposaria d'una altra.

d) Càlcul del temps

A continuació, es realitzarà el càlcul del temps que tardarà el sistema RPA en fumigar el camp de conreu de 10 HA. Aquest càlcul, es realitzarà sota les hipòtesis proposades prèviament. Per fer-ho, cal tenir en compte el recorregut que farà el RPA:

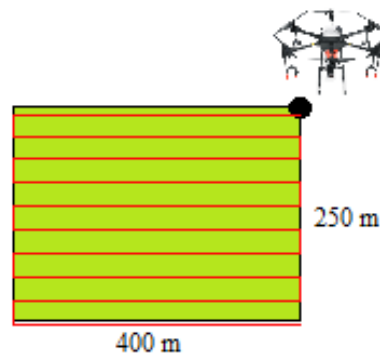


Fig. 42. Recorregut de l'operació.

Per determinar el nombre de línies paral·leles que haurà de recórrer el dron s'ha de tenir en compte l'ample de fumigació de 6,5 m (3,25 m per cada costat). En l'exemple proposat, per calcular el nombre de traçades s'ha de realitzar el següent càlcul (distància a recórrer/ample de fumigació):

$$N \text{ traçades} = \frac{250 \text{ m}}{6,5 \text{ m}} = 38,46 \text{ traçades.}$$

Llavors, si el quocient no és un número enter com en aquest cas, significa que entre el final de l'última traçada i el final del camp hi ha una distància superior a 0 i inferior a 6,5 m. Per tant, per no deixar cap part del camp sense fumigar, s'haurà de fer una traçada més que la part entera del quocient en el cas de que no sigui un número enter.

Per una altra banda, en aquests casos, depenent de l'amplada del camp de conreu i de la distància que hi hagi entre l'última traçada i el final del camp, el RPA potser haurà de realitzar l'última traçada des de fora del camp de conreu activant només els sortidors d'un dels costats. Això passarà quan la part decimal del quocient sigui major que 0, i menor o igual que 0,5 ($0 < X < 0,5$) ja que significarà que la franja restant serà menor de 3,25 m. En canvi, quan la part decimal del quocient sigui major que 0,5 l'última traçada s'haurà de realitzar amb els dos costats dels aspersors activats ja que la franja restant serà superior a 3,25 m. En aquest exemple, per tant, s'hauran de realitzar 39 traçades i l'última només requerirà un costat dels aspersors activat ($0 < 0,46 < 0,5$).

Per realitzar el càlcul del temps que tardaria el RPA cal saber els següents paràmetres explicats prèviament:

- Velocitat el RPA fumigant: 6 m/s.
- Velocitat sense fumigar: 10 m/s.
- Diàmetre de fumigació: 6,5 m.
- Canvi de líquid cada 6' 40'', 6,66 min o 400''.
- 39 traçades de 400 m.
- Canvi de bateria i líquid: 30'' + 30'' = 1'.

Un cop coneixem els paràmetres, calcularem el temps total del procés per cicles, tenint en compte la posició on queda el RPA cada cop que s'ha de reposar el líquid. Cada cicle acabarà un cop el RPA hagi anat al centre de control i hagi efectuat els canvis pertinents tant de líquid com de bateria. La distància lineal que recorrerà el RPA en cada cicle serà la següent (temps x velocitat):

$$Distància = 400 \text{ s} * 6 \frac{m}{s} = 2400 \text{ m.}$$

Per tant, cada 6' 40'' el RPA realitzarà 6 traçades on cada traçada estarà distanciada de 6,5 m ($\frac{2400 \text{ m}}{400 \text{ m/traçada}} = 6 \text{ traçades}$). No obstant, en una operació real, serien traçades de 393,5 m + 6,5 m dels girs. Però, com que a l'exemple proposat no es tindrà en

compte el temps dels girs, les traçades seran de 400 m. D'aquesta manera s'aconseguirà una simplificació dels càlculs i a més es compensarà en part la no inclusió del temps dels girs.

Abans de realitzar el càlcul, cal recalcar que gràcies a l'elecció de 2,4 L/min el líquid del RPA s'acabarà cada cop sobre el costat curt, reduint així el temps total. Com ja s'ha comentat prèviament a l'apartat d'hipòtesis, a l'hora d'elegir la velocitat de fumigació o altres paràmetres, s'intentarà sempre en les operacions adequar aquests paràmetres a les dimensions del camp de conreu per així aconseguir una reducció en temps. No obstant, no cal oblidar que aquests valors com el de la velocitat de fumigació també estan subjectes sota unes condicions específiques i han de complir uns rangs de quantitat a aplicar en funció d'aspectes com per exemple les característiques del camp de conreu o el tipus de líquid a fumigar.

Les hectàrees que fumigarà en cada cicle seran (temps x velocitat x diàmetre de fumigació):

$$Hectàrees = 400 \text{ s} * 6 \frac{m}{s} * 6,5 \text{ m} = 15600 \text{ m}^2 = 1,56 \text{ HA.}$$

- Cicle 1 (inici tasca des de centre de control):

Temps de col·locació inici cicle 1	0
Temps d'operació/fumigant cicle 1	6' 40"
Metres recorreguts acumulats	2400 m
Traçades realitzades/traçades totals	6/39 traçades
Hectàrees recorregudes acumulades	1,56 HA
Lloc on acaba l'operació respecte el centre de control	$3,25 \text{ m} + 6,5 \text{ m} * 5 = 35,75 \text{ m}^{19}$
Temps fins al centre de control	$35,75 \text{ m} \div 10 \text{ m/s} = 3,6''$
Temps de canvi de líquid i bateria	$30'' + 30'' = 1'$
Temps total cicle 1	$6' 40'' + 3,6'' + 1' = 7' 43,6''$
Temps total acumulat	7' 43,6''

¹⁹ Com hem comentat prèviament, es començarà a 3,25 m del camp de conreu, per tant, s'haurà de tenir en compte per saber la distància en el primer cicle.

- Cicle 2:

Temps de col·locació inici cicle 2	3,6'' ²⁰
Temps d'operació/fumigant cicle 2	6' 40''
Metres recorreguts acumulats	2 * 2400 m = 4800 m
Traçades realitzades/traçades totals	6 * 2 = 12/39 traçades
Hectàrees recorregudes acumulades	1,56 HA * 2 = 3,12 HA
Lloc on acaba l'operació respecte el centre de control	35,75 m + 6,5 m * 6 = 35,75 m + 39 m = 74,75 m
Temps fins al centre de control	74,75 m ÷ 10 m/s = 7,5''
Temps de canvi de líquid i bateria	1'
Temps total cicle 2	3,6'' + 6' 40'' + 7,5'' + 1' = 7' 51,1''
Temps total acumulat	7' 43,6'' + 7' 51,1'' = 15' 34,7''

- Cicle 3:

Temps de col·locació inici cicle 3	7,5''
Temps d'operació/fumigant cicle 3	6' 40''
Metres recorreguts acumulats	3 * 2400 m = 7200 m
Traçades realitzades/traçades totals	6 * 3 = 18/39 traçades
Hectàrees recorregudes acumulades	1,56 HA * 3 = 4,68 HA
Lloc on acaba l'operació respecte el centre de control	74,75 m + 6,5 m * 6 = 74,75 m + 39 m = 113,75 m
Temps fins al centre de control	113,75 m ÷ 10 m/s = 11,4''
Temps de canvi de líquid i bateria	1'
Temps total cicle 3	7,5'' + 6' 40'' + 11,4'' + 1' = 7' 58,9''
Temps total acumulat	15' 34,7'' + 7' 58,9'' = 23' 33,6''

- Cicle 4:

Temps de col·locació inici cicle 4	11,4''
Temps d'operació/fumigant cicle 4	6' 40''
Metres recorreguts acumulats	4 * 2400 m = 9600 m

²⁰ El temps de col·locació serà el mateix temps que ha tardat en anar al centre de control en l'anterior cicle, ja que ha d'anar al mateix lloc exacte.

Traçades realitzades/traçades totals	$6 * 4 = 24/39$ traçades
Hectàrees recorregudes acumulades	$1,56 \text{ HA} * 4 = 6,24 \text{ HA}$
Lloc on acaba l'operació respecte el centre de control	$113,75 \text{ m} + 6,5 \text{ m} * 6 = 113,75 \text{ m} + 39 \text{ m} = 152,75 \text{ m}$
Temps fins al centre de control	$152,75 \text{ m} \div 10 \text{ m/s} = 15,3''$
Temps de canvi de líquid i bateria	1'
Temps total cicle 4	$11,4'' + 6' 40'' + 15,3'' + 1' = 8' 6,7''$
Temps total acumulat	$23' 33,6'' + 8' 6,7'' = 31' 40,3''$

- Cicle 5:

Temps de col·locació inici cicle 5	15,3''
Temps d'operació/fumigant cicle 5	6' 40''
Metres recorreguts acumulats	$5 * 2400 \text{ m} = 12000 \text{ m}$
Traçades realitzades/traçades totals	$6 * 5 = 30/39$ traçades
Hectàrees recorregudes acumulades	$1,56 \text{ HA} * 5 = 7,8 \text{ HA}$
Lloc on acaba l'operació respecte el centre de control	$152,75 \text{ m} + 6,5 \text{ m} * 6 = 152,75 \text{ m} + 39 \text{ m} = 191,75 \text{ m}$
Temps fins al centre de control	$191,75 \text{ m} \div 10 \text{ m/s} = 19,2''$
Temps de canvi de líquid i bateria	1'
Temps total cicle 5	$15,3'' + 6' 40'' + 19,2'' + 1' = 8' 14,5''$
Temps total acumulat	$31' 40,3'' + 8' 14,5'' = 39' 54,8''$

- Cicle 6:

Temps de col·locació inici cicle 6	19,2''
Temps d'operació/fumigant cicle 6	6' 40''
Metres recorreguts acumulats	$6 * 2400 \text{ m} = 14400 \text{ m}$
Traçades realitzades/traçades totals	$6 * 6 = 36/39$ traçades
Hectàrees recorregudes acumulades	$1,56 \text{ HA} * 6 = 9,36 \text{ HA}$
Lloc on acaba l'operació respecte el centre de control	$191,75 \text{ m} + 6,5 \text{ m} * 6 = 191,75 \text{ m} + 39 \text{ m} = 230,75 \text{ m}$
Temps fins al centre de control	$230,75 \text{ m} \div 10 \text{ m/s} = 23,1''$

Temps de canvi de líquid i bateria	1'
Temps total cycle 6	$19,2'' + 6' 40'' + 23,1'' + 1' = 8' 22,3''$
Temps total acumulat	$39' 54,8'' + 8' 22,3'' = 48' 17,1''$

De cara al cycle 7, només falten 3 traçades o 1200 m per acabar la tasca de fumigació. Per tant, en aquest últim cycle tindrem només en compte el temps que tarda en fumigar aquesta superfície.

- Cycle 7:

Temps de col·locació inici cycle 7	23,1''
Temps d'operació/fumigant cycle 7	$1200 \text{ m} \div 6 \text{ m/s} = 200'' = 3' 20''$
Metres recorreguts acumulats	$6 * 2400 \text{ m} + 1200 \text{ m} = 15600 \text{ m}$
Traçades realitzades/traçades totals	$6 * 6 + 3 = 39/39$ traçades
Hectàrees recorregudes acumulades	$1,56 \text{ HA} * 6 + 1200 \text{ m} * 6,5 \text{ m} = 9,36 \text{ HA} + 7800 \text{ m}^2 (0,78 \text{ HA}) = 10,14 \text{ HA}$
Lloc on acaba l'operació respecte el centre de control	471,70 m (***)
Temps fins al centre de control	$471,70 \text{ m} \div 10 \text{ m/s} = 47,2''$
Temps de canvi de líquid i bateria	0' ²¹
Temps total cycle 7	$23,1'' + 3' 20'' + 47,2'' = 4' 30,3''$
Temps total acumulat	$48' 17,1'' + 4' 30,3'' = 52' 47,4''$

(***)Com que en aquest últim cycle només farà 3 traçades en comptes de 6, el RPA quedarà al costat oposat del inicial (concretament al vèrtex oposat). Per tant, la distància fins al punt de control serà la distància de la diagonal del rectangle.

²¹ Com que ja s'ha realitzat la tasca, ja no és necessari el canvi de bateria i líquid.

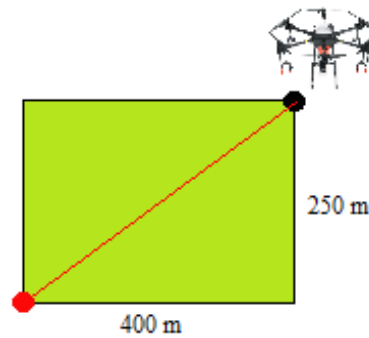


Fig. 43. Distància final.

El càlcul de la distància serà el següent:

$$D^2 = 400^2 + 250^2 = 471,70 \text{ m}^{22}$$

Per tant, el temps de fumigació de 10 HA serà concretament de 52' 47,4". Tenint en compte que s'ha obviat el temps de planificació, preparació, els girs i els enlairaments i aterratges, el valor s'aproxima molt al que proposava el fabricant (10 HA en aproximadament 1 hora). En primer lloc, després de realitzar aquest exemple podem concloure que el temps que el RPA estigui fumigant és pràcticament impossible de reduir ja que depèn de les necessitats del camp de conreu. En segon lloc, però, es pot observar com el fet de realitzar una bona planificació pot provocar la reducció en gran manera del temps total d'operació. Ja que per exemple en el nostre cas gràcies a l'acabament de la tasca al mateix costat del centre de control, s'aconsegueix reduir en gran mesura el temps en que el RPA no fumiga. Per tant, una bona planificació i col·locació del centre de control és vital per tal d'aconseguir una operació òptima.

7.4.2. Temps de la màquina fumigadora tradicional

a) Característiques de la màquina escollida

Per a la realització de la comparació en temps s'utilitzarà una màquina fumigadora de barra suspesa degut a les característiques del camp de conreu i principalment a la seva superfície (camp petit). A més a més, segons el fundador de AMP, empresa que fabrica i comercialitza aquestes màquines a Catalunya, el tipus de màquina que més s'utilitza en els camps de conreu catalans és la suspesa. Per tant, la màquina que s'utilitzarà per fer

²² Distància dins de la normativa ja que no supera els 500 m.

la comparació serà una màquina fumigadora de barra suspesa de la marca AMP de la gamma pulmàtic amb les característiques següents²³:

- Dipòsit principal de 1400 L nominal (1500 L real)²⁴.
- Bomba de 150 L/min.
- Barra de 15 m.
- Plegat independent dret i esquerre amb 2 trams.
- Sistema per incorporar el producte amb: Sistema de neteja d'envasos i possibilitat d'incorporar producte sec.
- Capacitat operativa: 15 HA/hora en el cas que anés constantment recte.²⁵

b) Hipòtesis

1. S'utilitzaran les mateixes hipòtesis generals que en el cas del temps amb RPA (Condicions meteorològiques normals i operació planificada).
2. Velocitat del tractor: La velocitat d'un tractor a l'hora de fumigar és normalment d'entre 7 i 11 km/h.²⁶ En aquest cas, per contrastar al màxim les dues tecnologies, s'agafarà la velocitat màxima (11 km/h). Per passar-la a m/s es faran els següents càlculs:

$$V = 11 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 3,06 \text{ m/s}$$

Per fer el càlcul més simplificat, però, la velocitat s'arrodonirà i la que s'utilitzarà serà de 3 m/s.

3. Velocitat de fumigació: El líquid que s'utilitzarà, de la mateixa manera que en l'exemple anterior, serà herbicida (no requereix tant líquid per hectàrea com els fungicides). En aquesta simulació es farà servir una quantitat de 100 L/HA (27 L/min aproximadament a una velocitat de 3 m/s). Cal tenir en compte que normalment la majoria d'operacions es fan amb una quantitat superior de líquid,

²³ Les característiques escollides són les característiques de les màquines més comercialitzades per empreses distribuïdores a Catalunya, sobretot per l'empresa AMP.

²⁴ Litres nominal: Litres que té la màquina segons està inscrita.

Litres real: La llei demana un mínim d'un 5% més de capacitat.

²⁵ Informació obtinguda per el fundador de la pròpia empresa AMP.

²⁶ Informació obtinguda per el fundador de la pròpia empresa AMP i varies empreses comercialitzadores de màquines AMP i Hardy.

però en aquest exemple s'agafarà la mínima (millor situació)²⁷. El fet de poder realitzar la tasca amb tant poca quantitat de líquid també és degut a la tecnologia actual de les màquines AMP, que estan dissenyades amb sortidors de líquid de baixa densitat.

c) Càlcul del temps

Per realitzar el càlcul del temps es durà a terme el mateix mètode que amb el sistema RPA; un traçat en "S", començant des d'un dels vèrtexs, però en aquest cas la distància entre traçada i traçada serà de 15 m (distància de l'ample de barra) i el tractor inicialment es situarà a 7,5 m del límit del camp. A diferència del sistema RPA, no serà necessari que cada 6'40" el vehicle faci un canvi de líquid ja que amb el mètode tradicional s'eliminen pràcticament tant les limitacions per capacitat de líquid com les limitacions per autonomia de la bateria (funciona amb carburant) i només és necessari realitzar parades en camps de conreu de grans superfícies. En aquest cas, per exemple, no serà necessari, ja que només s'utilitzaran 1000 L ($100 \text{ L/HA} \cdot 10 \text{ HA}$) i el tanc té una capacitat de 1500 L.

A més, de la mateixa manera que en l'exemple anterior, no es tindrà en compte el temps que tarda en realitzar els girs. Això, sumat a que no farà falta realitzar cap parada, provocarà que el càlcul a realitzar es fes com si el tractor anés en línia recta constant. En una operació real però, el procés serà molt semblant al que es realitza amb RPAS. Per tant, també es crearan carrils, l'únic que en aquest cas no seran ficticis sinó que estaran creats per les pròpies marques de les rodes i tindran una separació de 15 m. Així mateix, els girs també es faran al costat curt. A més, paral·lelament a aquest costat curt i a una distància de 7,5 m aproximadament es crearan dos carrils més que seran sobre els que es realitzaran els girs i els que serviran per recórrer el camp d'un costat a l'altre sense fer malbé més collita de la necessària. Aquests dos carrils amb RPAS no serà necessari crear-los degut a que el sistema és aeri. Cal recalcar també, que les distàncies, a la pràctica habitual, a diferència del sistema RPA, no seran concretes i precises ja que amb aquest sistema no és realitza una planificació amb precisió centimètrica com en el cas del RPAS i les distàncies es calculen "a ull". No obstant, però, per aquest càlcul, s'utilitzaran distàncies concretes.

²⁷ Segons l'Albert Miquel Panella, creador de l'empresa AMP, i altres distribuïdors del sector, la majoria d'operacions amb herbicides es realitzen utilitzant entre 100 L i 300 L per hectàrea.

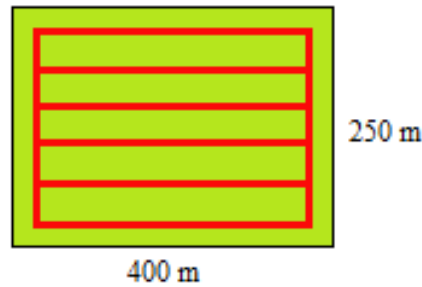


Fig. 44. Carrils creats per les rodes del tractor.

Les traçades que farà en aquest cas el tractor seran les següents:

$$N \text{ traçades} = \frac{250 \text{ m}}{15 \text{ m}} = 16,66 \text{ traçades}$$

Seguint el mateix plantejament que en el cas del sistema RPA, en primer lloc, com que el resultat no és un número enter, s'haurà de sumar una traçada a la part entera per així evitar que es quedi una part sense fumigar i per tant es realitzaran 17 traçades. A més, com que la part decimal, en aquest cas, és superior a 0,5 ($0,66 > 0,5$), l'última traçada es realitzarà amb les dos costats de la barra activats.

Per tant, el temps total serà el següent (temps d'operació + temps de tornada):

- Càlcul temps d'operació:

$$\text{Distància a recórrer} = 400 \frac{\text{m}}{\text{traçada}} * 17 \text{ traçades} = 6800 \text{ m}$$

$$\text{Temps d'operació} = \frac{6800 \text{ m}}{3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 37,77 \text{ min} = 37'47''$$

- Càlcul temps de tornada:

El tractor, al fer 17 traçades quedarà situat al vèrtex oposat, en aquest cas, per tornar haurà de seguir els carrils per arribar a l'inici. La manera més ràpida de fer-ho serà en forma de "L". Per tant, haurà de recórrer primer el costat curt i després realitzar un gir i recórrer el costat llarg.

$$\text{Distància} = (250 \text{ m} - 7,5 \text{ m} - 2,5 \text{ m}) + (400 \text{ m} - 7,5 \text{ m}) = 632,5 \text{ m}$$

$$\text{Temps} \left(a 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = \frac{632,5 \text{ m}}{3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 210,83 \text{ s} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 3,51 \text{ min} = 3' 31''.$$

El temps total que tardarà el tractor en fumigar les 10 HA serà de $37' 47'' + 3' 31'' = 41' 18''$.

7.4.3. Comparació del temps

Un cop realitzat l'anàlisi de les dues tècniques i calculat el temps que es tardaria en fumigar es pot apreciar com la tècnica tradicional és lleugerament més ràpida a l'hora de realitzar la tasca de fumigació que el sistema RPA en un camp de conreu uniforme de 10 HA (RPAS: $52' 47,4''$ / fumigadora de barra: $41' 18''$). No obstant això, el fet que la diferència entre els dos sistemes no sigui abismal, sumat a que a l'hora de fumigar amb RPAS ens hem posat en la pitjor situació, provoca que cap dels dos sistemes obtingui realment un avantatge remarcable respecte l'altre tecnologia. Per tant, deixant de banda les diferències operatives que hi ha entre un servei i l'altre en la manera en que es fa el procés (comentades en l'apartat 7.3, procés de fumigació), es pot veure com cada tecnologia té els seus propis punts forts i febles que repercuteixen directament sobre el càlcul del temps, i que, en aquest cas, el nombre de punts forts i febles són molt semblants.

En primer lloc, el sistema RPA té un gran avantatge respecte l'altre sistema pel que fa a la velocitat del vehicle i la maniobrabilitat, però l'inconvenient principal és que aquesta velocitat no és constant i es veu afectada per la poca capacitat del tanc i per l'autonomia del vehicle. Cal recalcar però, que aquests dos inconvenients s'estan intentant solucionar mitjançant l'ajuda de sortidors de poca densitat (ja utilitzats per augmentar encara més la durabilitat del líquid), amb la millora de les bateries i l'augment de la capacitat del tanc. En segon lloc, la fumigadora de barra obté el seu avantatge en el temps gràcies a l'ample de fumigació i a l'alta capacitat tant de líquid com de carburant que permet fumigar durant més estona. Però en canvi, l'operació és veu molt afectada per la poca maniobrabilitat i per la poca precisió dels seus sortidors, fet que provoca que s'hagi de fer a baixes velocitats i amb una gran quantitat de líquid.

Cal recalcar però, que en l'exemple proposat no s'ha realitzat cap parada del tractor. No obstant, i tot i que s'hagi de fer amb molta menys freqüència, un canvi de líquid provoca la pèrdua d'una gran quantitat de temps, a diferència del sistema RPA (temps que es tardi a reomplir sumat al de anar i tornar a poca velocitat). Per tant, tot i que en l'exemple realitzat no es vegi reflectit ja que només s'utilitzen 1000 L de 1500 L, es

podria afirmar que, a la llarga, el temps de fumigació amb tractor es converteix en una operació on les pauses llargues augmenten en gran mesura el temps total, mentre que per una altre banda, la fumigació amb RPAS es converteix en una tecnologia on l'operació, tot i que es facin canvis de poc temps, es converteix en constant.

Un altre aspecte a tenir en compte és que aquest estudi s'ha realitzat sota unes condicions generals i favorables²⁸, i és sota aquesta seqüència de condicions on no s'ha pogut apreciar una gran diferència entre els dos sistemes. Sota condicions adverses, però, el temps del sistema RPA seria inferior ja que per exemple en zones de difícil accés o amb pendent es més complicat maniobrar amb tractor degut a la barra, o la mobilitat del tractor és més complicada en zones amb basalts si ha plogut recentment. En canvi, totes aquestes circumstàncies no afecten de cap manera al sistema RPA. Per tant, en camps de conreu amb situacions adverses, s'evitarien mitjançant la fumigació amb RPAS.

Per una altra banda, en aquest estudi només s'ha tingut en compte la fumigació amb màquines de barra i no turboatomitzadores o nebulitzadores. Cal recalcar que el gran avantatge en temps que provoca la barra i la seva amplada queda eliminada quan la fumigació es deixa de fer en camps de conreus uniformes i de baixa altura i es fa en camps d'arbres fruiters, on s'utilitzen fumigadores turboatomitzadores. Per tant, el temps del tractor, al perdre el seu principal avantatge, es veurà afectat dràsticament i disminuirà molt la seva eficàcia en aquests casos. En canvi, la fumigació amb RPAS seguirà sent igual d'efectiva i la diferència pel que fa a la velocitat de les dues tecnologies tindrà encara més importància, obtenint així un gran avantatge en temps respecte el mètode tradicional.

Concloent, per tant, es pot afirmar que tot i que sota condicions normals el temps del tractor pugui semblar lleugerament inferior, el sistema RPA és molt més factible en situacions adverses i ofereix un ventall més ampli de possibilitats sense veure's afectat en el temps d'operació. Finalment, a més, mitjançant RPAS la sincronització de diversos vehicles (fins a un màxim de 5 amb el mateix pilot) és més senzilla, i no requereix cap instal·lació ni mà d'obra extra²⁹. En canvi, la sincronització de màquines

²⁸ Entenem com a condicions favorables per exemple que l'estudi sigui en una zona plana i de forma rectangular, sense pendents, sense zones de difícil accés, sense haver plogut recentment i amb el camp de conreu sec.

²⁹ Únicament si la distància màxima del pilot supera els 500 m, en aquestes ocasions es requerirà d'un observador connectat per radio amb el pilot.

fumigadores és més complicada de gestionar i no és tant eficient. És per això que, tot i que en aquest estudi únicament s'hagi calculat el temps que tardaria un vehicle, amb l'ajuda d'aquest tret distintiu sí que s'aconseguirà un important avantatge en temps.

7.5. Preu

En aquest apartat s'analitzarà el preu que té cada tècnica de fumigació. Per fer-ho, es plantejarà en primer lloc les inversions inicials que requereixen cada una de les tecnologies. Un cop fet, es realitzarà una anàlisi i es proposarà el preu de servei que tindria la fumigació amb RPAS per a Agrodrona comparant-lo amb el preu del servei que tindria una fumigació mitjançant el mètode tradicional. Aquest preu de servei tant per el RPAS com per el mètode tradicional es farà sobre les característiques del camp de conreu de 10 HA proposat anteriorment en l'apartat de temps.

7.5.1. Inversió inicial i cost

A continuació es realitzarà una anàlisi i comparació de la inversió necessària que s'ha de realitzar, tant amb sistema RPA com amb el mètode tradicional (fumigadora de barra). Per a realitzar la fumigació amb RPAS Agrodrona necessitarà realitzar la següent inversió:

UNITATS	PRODUCTE	PREU	PREU TOTAL
5	DJI Agras T16	14999 €/unitat	74995 €
1	DJI Phantom 4 RTK	4710 €/u	4710 €
1	DJI Phantom 4 Multispectral	4955 €/u	4955 €
2	Furgoneta Mercedes Sprinter	23286 €/u	46572 €
25 ³⁰	Bateria pel DJI Agras T16	1099 €/u	27475 €
5 ³¹	Carregadors de bateries d'alta velocitat	1199 €/u	5995 €
10 ³²	Dipòsits de líquid	179 €/u	1790 €
1	Ordinador portàtil	799 €	799 €
1	Software per a realitzar la planificació (DJI Terra)	2199 €/any	2199 €
1	Contenidor de 100 L per a realitzar la barreja de líquid fumigador	65 €	65 €
1	Bombes de líquid elèctriques per	115 €	115 €

³⁰ En les operacions s'utilitzen 5 bateries per RPA, per tant en total es requeriran 25 bateries.

³¹ En les operacions s'utilitzen un carregador per cada RPA per tant es requeriran 5 carregadors.

³² En les operacions s'utilitzen dos dipòsits per cada RPA per tant es requeriran 10 dipòsits.

	a omplir el dipòsit del RPA		
2	Grups electrògens (generadors d'energia) – Honda ECT7000	1740 €	3480 €
TOTAL			173150 €

Els preus indicats pels objectes, vehicles o aparells han estat extrets de les empreses següents: Atyges (39), El vuelo del dron (40), DJI Store Madrid (41), Concessionari Mercedes (42), Media Markt (43) i AgriEuro (44).

Cal recalcar que el fet de constituir l'empresa per realitzar aquest servei comportarà més despeses de les representades en aquesta taula (arrendament d'un local, salaris, energia, permisos, etc), però en aquesta anàlisi només volem representar les despeses que estan involucrades directament amb el cost de fumigació.

Per una altra banda, per dur a terme el procés de fumigació segons el mètode tradicional, la inversió necessària és la que mostra la taula següent. En aquest segon cas però, s'ha de tenir en compte que el tractor no només s'utilitzarà per realitzar el procés de fumigació, sinó que també té una part de cost d'amortització imputable en altres tasques com la de llaurar, sembrar i recol·lectar. Per tant, realment el preu del tractor que s'imputarà serà del 25%.

PRODUCTE	PREU
Tractor New Holland T4 110 LP	$\frac{1}{4} * 47500 \text{ €} = 11875 \text{ €}$
Màquina fumigadora de barra AMP de 15 m	15500 €
TOTAL	27375 €

Com es pot apreciar en la comparació de les inversions, i tenint en compte que el cost del tractor i de la seva amortització no és totalment imputable a la inversió a realitzar amb el mètode tradicional, amb el sistema RPA s'ha de realitzar una inversió molt més elevada, sumat a que també es requereixen més certificacions i permisos, fet que fa més exclusiva la tecnologia.

7.5.2. Preu del servei amb RPAS

A l'hora d'establir un preu del servei de fumigació amb RPAS s'utilitzarà el preu que ofereix l'empresa Drones en Zaragoza, que és una de les úniques empreses que s'encarrega d'oferir serveis de fumigació arreu d'Espanya. Per tant, al tractar-se pràcticament d'un monopoli, el preu d'aquesta empresa és un preu significatiu. S'utilitzaran les següents hipòtesis:

- El servei que s'oferirà, com ja hem comentat prèviament, serà el de la pròpia fumigació amb el DJI Agras T16 acompanyat prèviament d'un dels drons de la família Phantom 4 que serà l'encarregat de realitzar l'anàlisi prèvia.
- El preu de la fumigació que s'oferirà serà un preu per hectàrea i serà concretament de 50 €/HA³³. Aquest preu del servei de fumigació mitjançant RPAS ve donat per la forta inversió que s'ha de realitzar, ja que la majoria dels costos que hi ha són a causa de l'immobilitzat. Per tant, el cost del servei amb RPAS ve donat pràcticament per la gran amortització que té la forta inversió realitzada.
- A l'hora de calcular aquest preu, s'ha de tenir en compte que tant el cost del producte fumigador com el cost de l'aigua va a càrrec de l'agricultor, ja que és l'agricultor qui escull quin és el producte que vol fumigar i amb quina quantitat d'aigua ho vol fer. Per tant, a l'hora de calcular tant el preu del servei amb RPAS com el cost d'operar amb fumigadora de barra, s'obviaran aquests dos costos. En primer lloc, s'obviarà el cost del producte fumigador degut a que el paga l'agricultor en ambdós casos. En segon lloc, tot i que amb RPAS es pugui reduir l'aigua utilitzada fins a un 90% per a un camp de 10 HA en una tasca de fumigació (RPAS: 100 L, mètode tradicional: 1000 L), també s'obviarà aquest cost ja que el preu de l'aigua agrícola provinent d'embassaments és baix i té un cost de 0,1 €/m³³⁴. Per tant, tot i que òbviament aquest cost serà inferior amb l'ús del sistema RPA, la diferència tampoc serà significativa en tasques de fumigació com la proposada. (45)

³³ Preu de fumigació que ofereix l'empresa Drones en Zaragoza, una de les poques empreses que opera amb RPAS agrícoles a nivell espanyol.

³⁴ 1 m³ = 1000 L.

- El preu mínim per a una jornada de fumigació serà de 800 €/jornada³⁵, d'aquesta manera, si la fumigació que es fa per petició de l'agricultor és amb una gran quantitat d'aigua i es converteix en una fumigació molt lenta³⁶, tampoc suposarà una gran pèrdua de temps per l'empresa.
- El cost de quilometratge, dietes i allotjament també corre a càrrec de l'agricultor. Aquest cost variarà molt en funció del lloc on es vagi i del tipus de fumigació que s'hagi de realitzar ja que hi ha productes que s'han d'aplicar de manera freqüent al llarg dels dies. Es per això que a l'hora de calcular-ho no es tindrà en compte. Tot i així, cal recalcar que el preu del quilometratge serà de 0,60 €/km pel primer vehicle, i en cas que requereixi un segon, seria de 0,9 €/km per al total dels dos vehicles.³⁷

Per tant, per a la parcel·la de 10 HA plantejada a l'apartat de temps, amb un rang de polvorització de 10 L/HA, el preu de fumigació si l'agricultor subcontractés el servei de fumigació amb RPAS seria el següent (sense tenir en compte el quilometratge, dietes i allotjament):

- Cost de la subcontractació del servei amb RPAS = $50 \frac{\text{€}}{\text{HA}} * 10 \text{ HA} = 500 \text{ €}$.

7.5.3. Preu del servei amb fumigadora de barra

A l'hora de calcular el preu de la fumigadora de barra s'ha de tenir en compte que el servei, no només es pot realitzar en forma de subcontractació com amb el sistema RPA, sinó que també es pot realitzar per compte propi d'una manera més senzilla ja que no es requereixen tants permisos ni titulacions d'AESA com amb el cas del RPAS. Cal recalcar però, que en aquesta anàlisi, per a realitzar la comparació, s'agafarà el preu com si es realitzés mitjançant una subcontractació, agafant com a preu final la mitjana del preu de les 3 empreses catalanes més importants que realitzen aquest servei³⁸. Es farà d'aquesta manera ja que el fet de calcular el servei propi dependria de masses variables ja que, per exemple, cada agricultor realitza una quantitat diferent de fumigacions per rotació, així com també cada agricultor decideix donar una vida útil

³⁵ Jornada de 8 hores.

³⁶ Les raons principals per el qual el agricultor fumiga amb una gran quantitat d'aigua acostumen a ser la por o la desconeixença al canvi i al nou model de fumigació. Això provoca que les primeres fumigacions en realitzar en nous clients es realitzin amb una gran quantitat d'aigua.

³⁷ Preu que ofereix l'empresa Drones en Zaragoza, una de les poques empreses que opera amb RPAS agrícoles a nivell espanyol.

³⁸ Servicentre, Agroptima i Agroquímico Salvi.

diferent als seus aparells, entre altres coses. A més a més, d'aquesta manera s'aconseguirà la comparació de dos serveis subcontractats, comparant així només els costos dels serveis, i obviat en ambdues situacions aspectes molt variables com el cost de quilometratge, les dietes o el del preu del propi producte a fumigar.

El cost mitjà de la subcontractació és de 21 €/HA³⁹. Per tant, el cost per a una parcel·la de 10 HA serà:

- Cost de la subcontractació del servei amb mètode tradicional = $21 \frac{\text{€}}{\text{HA}} * 10 \text{ HA} = 210 \text{ €}$.

7.5.4. Comparació del preu

Com es pot observar, el preu del servei de fumigació mitjançant RPAS és bastant més elevat que el cost de fumigació mitjançant el mètode tradicional. Això és bàsicament degut a que l'ús del sistema RPA comporta una inversió molt més elevada que en el cas del mètode tradicional. A més a més, aquesta diferència en preu també és deguda a l'exclusivitat que comporta el sistema RPA ja que l'ús de drons requereix de més preparació, permisos i llicències.

Per una altra banda cal recalcar que, a diferència de la fumigació tradicional, un altre motiu pel qual es paga un preu bastant elevat és degut a la qualitat del servei. En primer lloc, totes les millores qualitatives comentades prèviament en l'apartat de "procés de fumigació (apartat 7.3) fan d'aquest servei un servei distingit, que aconsegueix ressaltar i eliminar la seva competència gràcies a la exclusivitat i qualitat. En segon lloc, la capacitat de la tecnologia de poder analitzar la totalitat de la parcel·la en un temps reduït, sent capaç de detectar zones problemàtiques o afectades per plagues, fa d'aquesta tecnologia una tecnologia més exclusiva i justifica el seu preu. Per tant, la tecnologia RPAS aporta un valor afegit a l'operació molt important respecte al mètode tradicional, ja que pot arribar a proporcionar la informació addicional suficient per prevenir una pèrdua d'una collita detectant una plaga a temps, evitant així una situació amb pèrdues molt importants per a l'agricultor. És per això que, cada cop més, els agricultors estan disposats a pagar aquest preu extra, donant més importància a la qualitat del servei que

³⁹ Tenint en compte que el preu de Servicentre era de 25 €/HA, el de Agroptima 18 €/HA i el de Agroquímics Salvi de 20 €/HA.

al preu. Cal recalcar per tant que, com més alt és el valor del cultiu, més importància adquireix el servei de fumigació amb RPAS.

Tenint en compte que a una finca requereix d'uns 10 tractaments rutinaris per rotació del camp, però que poden augmentar en funció de la temporada i el seu temps (com per exemple en èpoques de pluges ja que s'ha de realitzar fumigacions de fungicides més rutinàriament), la diferència en cost del mètode tradicional respecte el RPAS encara és més elevada. Per tant, tot i que la tècnica de fumigació mitjançant RPAS sigui més efectiva que el mètode tradicional, hi haurà tasques a les quals una fumigació mitjançant RPAS no serà recomanable degut al seu elevat preu. Això passarà en camps de conreus on el producte que es cultivi sigui molt barat i el cost d'una fumigació amb RPAS sigui més elevat que el benefici que suposaria la venda de tota la collita. En aquests casos la majoria dels agricultors es decanten per la pèrdua de la collita ja que els hi suposa una pèrdua de menys diners. Finalment, tot i que el preu de la fumigació amb RPAS sigui més elevat que el mètode tradicional, cal recalcar que mitjançant RPAS, al realitzar-se anàlisis i operacions més precises i amb més qualitat, s'aconsegueix reduir el nombre de fumigacions per rotació del camp de conreu, i per tant, també el cost final en relació al mètode tradicional.

7.6. Anàlisi de les conseqüències sobre el medi ambient

En aquest apartat es tractarà el fet de com afecta l'ús dels líquids fumigadors al medi ambient, quines conseqüències pot provocar una mala distribució d'aquests líquids i a què és degut aquesta mala distribució, comparant també i analitzant si mitjançant el RPA es pot millorar en algun aspecte.

L'ús de productes químics contra les plagues crea una sèrie de dubtes i qüestions en relació al medi ambient ja que un dels principals problemes que té amb els mètodes tradicionals de distribució és que més de 98% dels insecticides fumigats i del 95% dels herbicides arriben a un destí diferent al que es volia en un principi com per exemple: altres espècies vegetals i animals, aire, aigua o inclús a aliments destinats al consum humà.(46)

La majoria d'aquesta gran quantitat de líquid que no acaba a la plantació és el causant de la contaminació de l'aire, que posteriorment acabarà provocant també la contaminació del terra i de l'aigua. La contaminació de l'aire està provocada per el vent, que arrastra les partícules fumigades per el tractor abans de caure a la plantació degut al poc pes que tenen i les transporta mitjançant l'aire cap a altres zones fora del camp de conreu com, per exemple, a altres finques o a un riu, contaminant aquestes zones també. Per tant, és aquí, un cop contaminat l'aire, on es produeix la contaminació de l'aigua i del terra.

En relació a la contaminació de l'aigua, cal destacar que el líquid fumigador és una de les causes principals de la contaminació d'aquesta. Com ja s'ha comentat, aquesta contaminació ve provocada indirectament per la mobilització dels productes químics cap a altres zones en les quals aquest producte no hi anava destinat degut al vent. Un cop contaminada l'aigua, el grau de contaminació i de propagació d'aquestes partícules és molt més elevat ja que augmenta la seva facilitat a l'hora de desplaçar-se i, a més a més, la contaminació pot persistir durant molt de temps, afectant de manera contant i negativa a l'ecosistema.

No obstant, analitzant l'arrel del problema es pot veure com el vent no és la causa inicial, sinó que principalment tot el problema de la contaminació ve donat per una mala direccionalitat del líquid fumigador causada per la poca precisió que té el tractor a l'hora de distribuir-lo (sobretot en el cas de fumigadores turboatomitzadores). En canvi,

el servei de fumigació mitjançant RPA que oferim, elimina en gran part aquest problema ja que gràcies al circuit d'aire que és forma (comentat a l'apartat 7.3) la majoria del líquid va directament a la plantació i no es perd per la força del vent, fet que ajudarà a la no contaminació de l'aire.

Tot i això, la solució del problema de la direccionalitat del líquid no és la única millora que pot aportar el RPAS en quant aspectes mediambientals. Mitjançant l'ús dels tractors, es realitza una distribució del líquid de manera irracional i sense pensar en la seva optimització, provocant així més impactes mediambientals. No obstant, Agrodrona ofereix un servei de fumigació en el qual la gestió i distribució del líquid és fonamental degut a que disposa únicament de tancs de 16L, i gràcies al seu sistema de dispersió és capaç d'optimitzar el procés. A més, per fer-ho, com ja hem comentat prèviament, planifica els seus processos segons el tipus de cultiu i només fumiga en el cas que hi hagi plantació, com, per exemple, en la fumigació d'arbres fruiters, en la qual el RPA només fumigarà quan passi per sobre d'un d'ells, evitant així la contaminació del terra d'aquelles parts on no hi hagi plantació. D'aquesta manera, no només s'evitarà el malbaratament irracional de líquid aportant així una reducció important en costos, sinó que també reduirà en un al grau moltes de les externalitats negatives mediambientals provocades per aquest.

Per una altra banda a més, mitjançant la fumigació amb RPAS, s'aconsegueix també un gran estalvi en aigua, fet que repercuteix positivament en relació al medi ambient. En l'exemple proposat del camp de 10 HA per exemple, mentre mitjançant el sistema RPA s'utilitzaria una quantitat de 10 L/HA, mitjançant el mètode tradicional s'hauria utilitzat uns 100 L/HA. Per tant, tenint en compte aquests dos valors, el sistema RPA, en aquest exemple, et permetria estalviar fins a un 90% ($\frac{100\text{ L} - 10\text{ L}}{100\text{ L}} = 0,9 = 90\%$) de l'aigua per a cada procés de fumigació. Finalment, cal recalcar també que mitjançant l'ús dels drons, s'aconseguirà també un estalvi en carburant i per tant, una reducció de tota la contaminació que puguin arribar a provocar els tractors.

7.7. Anàlisi de les conseqüències sobre la salut humana

L'ús dels plaguicides pot afectar a l'ésser humà de dues maneres: afectant a la persona que consumeix els productes fumigats o de zones contaminades (afectació indirecta) o afectant als agricultors que realitzen la fumigació (afectació directa). És en el primer cas, comentat prèviament en el apartat de medi ambient, on l'exposició als pesticides és crònica ja que estàs exposat en baixes dosis durant molt de temps, i és més fàcil eradicar el problema ja que els riscos de sofrir conseqüències en la salut són més baixos. Però, en el segon cas, el risc de patir problemes sobre la salut és molt elevat sobretot en cultius intensius i en els països del tercer món. És per això que en aquest apartat ens centrarem en els efectes que pot provocar el procés de fumigació de manera directa.

El problema principal de qualsevol dels mètodes tradicionals legals que hem comentat prèviament (tractor o manual) és que a l'hora de fumigar els éssers humans estan en contacte directe amb el líquid fumigador. Aquest líquid, en determinades quantitats i en contacte constant pot ser bastant perjudicial i pot arribar a provocar diferents tipus de toxicitats com:

1. Toxicitat dèrmica: fa referència als riscos tòxics deguts al contacte i absorció del líquid fumigador per la pell.
2. Toxicitat per inhalació: fa referència als riscos tòxics deguts al contacte i absorció del líquid fumigador a través de la respiració. (47)

Per tant, una altra de les principals millores que aporta l'ús dels RPAS per a realitzar aquest tipus de tasques està implícit en la pròpia paraula i és que el sistema no necessita un pilot, sinó que necessita un pilot remot i el vol es pot realitzar de manera autònoma. Gràcies a això, no hi haurà cap persona involucrada i en contacte directe amb el líquid i només s'haurà de manipular durant el carregament del producte al RPA. D'aquesta manera, si el procés de carregament es fa correctament i prenent les mesures corresponents, amb l'ús dels RPAS es podrà eradicar la contaminació directa evitant el contacte constant que hi ha quan es realitza la fumigació amb tractor.

Cal recalcar també, per una altra banda, que com que el sistema RPA ofereix una distribució del líquid més òptima, no provocarà ni la contaminació d'aigües ni caldrà sobrecarregar de productes químics la plantació, millorant així la qualitat del producte, i a més a més, disminuint el risc de contaminació indirecte.

8. Altres tècniques agrícoles a realitzar amb RPAS

La nova tecnologia RPA està creixent en gran mesura en aquests últims anys, i tot i que Agrodron només es dedica a l'anàlisi i la fumigació dels camps de conreu degut a que és la tècnica agrícola més viable actualment amb aquest sistema, també van sorgint noves funcions i aplicacions dins l'àmbit de l'agricultura per aquesta tecnologia. En aquest apartat es farà una breu explicació sobre cada una d'aquestes noves funcions que potencialment es podrien realitzar amb aquest sistema, analitzant també les millores que aportari el sistema. Cal recalcar que algunes d'aquestes funcions són exclusives i altres milloren l'anterior sistema tradicional.

a) Recompte de plantes i supervisió del creixement

El fet de realitzar una cartografia mitjançant els drons DJI Phantom 4 RTK i DJI Phantom 4 Multispectral, permet una anàlisi integral del camp de conreu i, per tant, no només pots realitzar les tasques que ja hem comentat, com per exemple l'anàlisi dels índex de vegetació, sinó que també es pot realitzar una supervisió constant o monitorització del camp de conreu juntament amb altres funcions com la de recompte de plantes. D'aquesta manera, es podrà supervisar en temps real com evoluciona el camp de conreu i mitjançant el nombre de plantes es podrà realitzar més fàcilment una aproximació de la producció que s'obtindrà.

b) Mapes per a la gestió de reg de precisió

Mitjançant el RPA DJI Phantom 4 Multispectral i els índex de vegetació es pot obtenir informació molt valuosa en quant a l'estrès hídric de les plantes. Aquest fet permet realitzar una anàlisi detallada per establir d'aquesta manera mapes per a la realització d'un sistema de reg de precisió. Aquest sistema permetrà establir zones diferents de reg amb diferents cabals de l'aigua segons les necessitats en cada moment de cada part de la parcel·la. D'aquesta manera s'obtindrà una millor productivitat de la parcel·la i s'evitaran excessos o deficiències pel que fa a les quantitats de l'aigua a distribuir.

c) Fenologia

La fenologia és la part de la meteorologia que estudia les repercussions del clima sobre els fenòmens biològics de ritme periòdic. En aquest cas, mitjançant l'anàlisi i la monitorització constant que ofereix el DJI Phantom 4 Multispectral és podrà realitzar

una anàlisi sobre com afecta la meteorologia sobre alguns aspectes o fenòmens rutinaris de l'agricultura com ara la florida d'algun tipus de plantes. D'aquesta manera es podran establir relacions i conèixer millor el potencial productiu de cada plantació. Per una altra banda, en plantacions silvestres com ara boscos, concretant el seu estat sanitari, es podrà establir, per exemple, quina és la incidència del canvi climàtic sobre un ecosistema vegetal.

d) Peritatge dels cultius

Una altra de les funcions que es pot realitzar mitjançant RPAS a l'agricultura serà el peritatge de cultius. En aquest cas, davant d'un sinistre, mitjançant l'anàlisi d'imatges multiespectrals o la cartografia 3D obtingudes amb el DJI Phantom 4 Multispectral o RTK, es podrà avaluar i identificar amb més fiabilitat quines són les zones que no han sofert cap tipus de dany o quines són les que han quedat totalment destrossades. D'aquesta manera, es podrà inclús eliminar el desplaçament que el perit ha de fer al camp de conreu, aconseguint així un estalvi en temps.

e) Sembra

Finalment, també s'està començant a automatitzar el procés de la sembra mitjançant RPAS. Empreses com CO2 Revolution o BioCarbon Engineering (empresa britànica recolzada pel fabricant de drons Parrot) estan realitzant estudis per aconseguir automatitzar totalment aquest procés dins l'agricultura. Actualment, els seus projectes es basen únicament en la sembra per a la reforestació d'arbres en boscos per així compensar la petjada de carboni creant un ecosistema en poc temps i amb gran eficiència. D'aquesta manera, tot i que s'està començant a realitzar amb la plantació d'arbres fruiters, no és necessària la distribució de les llavors de manera uniforme sinó que es pot realitzar més aleatòriament, obviant així el problema o dificultat actual a solucionar en relació a la distribució i direccionalitat de les llavors per a plantacions agrícoles.

Actualment, les xifres que aquestes empreses poden arribar a assolir són aproximadament uns 25.000 arbres/dia, reduint de manera desmesurada el temps amb que es podia assolir abans. Per fer-ho, amb l'ajuda de drons complementaris de la família Phantom 4, s'ha d'analitzar quines són les variables més apropiades per al nou ecosistema, tenint en compte la temperatura, les precipitacions, el tipus de terreny, la

distribució actual dels arbres ja existents o possibles obstacles en la zona, entre altres coses. Un cop realitzada l'anàlisi, s'obtenen els patrons òptims per dur a terme la sembra mitjançant els altres RPA. Per fer el propi procés de sembra, la distribució de les llavors es realitza mitjançant una càpsula biodegradable que conté la llavor pregerminada juntament amb tots els elements que necessita com adobs o repel·lents per a que tingui viabilitat en la seva primera fase de creixement, que es la més crítica.



Fig. 45. Procés de sembra amb RPAS.

Els RPAS utilitzat per l'empresa CO2 Revolution són capaços de portar fins a 2500 llavors per cada vol. El llançament de cada una d'aquestes càpsules es realitza segons les dades obtingudes prèviament en el procés de planificació. A més a més, el disseny d'aquesta càpsula està fet per a que, gràcies a l'altura a la que vola el RPA, la llavor aconsegueixi l'enterrament just en funció de cada espècie de planta.

Per tant, gràcies a aquesta nova tecnologia s'està aconseguint automatitzar un procés bastant lent i costós, on l'ús de mètodes tradicionals no és gaire eficient, fent sorgir així un nou terme anomenat silvicultura de precisió.(48) (49)

9. Conclusions

El fi o objectiu principal d'aquest treball era proposar i analitzar una alternativa al mètode tradicional de fumigació. En unes altres paraules, el que es volia aconseguir era conèixer i aprendre sobre com realitzar el procés de fumigació mitjançant RPAS, realitzant també una comparació amb el mètode tradicional de fumigació. Gràcies a l'anàlisi i a la comparació realitzada, s'ha pogut complir aquest objectiu, aconseguint una valoració detallada per a cada paràmetre avaluat. Per una altra banda, els subobjectius directament relacionats amb el treball i plantejats al inici d'aquest, també s'han pogut realitzar, obtenint nocions sobre temes pràcticament desconeguts al inici del treball com ara el món dels RPAS.

En quant a les dificultats que ha presentat el treball, cal recalcar com a única dificultat la falta d'informació sobre l'aplicació dels RPAS en l'agricultura, així com també la desconexença inicial sobre els dos temes per separat. És per això que per poder realitzar el treball, s'ha hagut d'establir i mantenir contacte amb diverses empreses, tant del sector dels RPAS com del sector de l'agricultura. Un cop realitzat el treball, s'ha pogut veure com realment el sector dels RPAS és un sector en creixement, gens atomitzat, on s'hi presenten moltes oportunitats de negoci.

A l'hora de començar a extreure conclusions, cal recalcar que mitjançant aquest treball no es volia menysprear al mètode tradicional respecte al mètode proposat sinó únicament proposar els punts forts i febles de cada una de les tecnologies. En primer lloc, s'ha pogut observar com el nou sistema RPA dóna molta importància al procés de preparació i planificació, ja que l'anàlisi del camp de conreu es converteix en l'eix principal de la fumigació. D'aquesta manera, coneixent en temps real totes les circumstàncies i variables que poden afectar a un camp de conreu, es pot realitzar la fumigació de diverses maneres i planificar-la segons la situació del moment, fent així una operació més eficient i òptima.

En segon lloc, s'ha pogut observar com les característiques del RPA escollit aporten un conjunt d'avantatges operatius en el propi procés de fumigació. D'aquesta manera, amb l'ús del sistema RPA s'obté una millora en aspectes relacionats amb la mobilitat, la maniobrabilitat i la distribució del líquid, així com també en aspectes relacionats amb la seguretat, obtenint així, un augment de la productivitat i una millora en el producte final, i aconseguint un valor afegit en el producte molt important per l'agricultor.

En tercer lloc, en quant a l'anàlisi i la comparació realitzat en el temps d'operació, s'ha pogut observar com realment no s'obté en cap dels dos mètodes una diferència important. Per tant, pel que fa al temps d'operació, cap de les dues tecnologies ofereix una gran millora respecte l'altre ja que cada una té els seus punts forts i febles a l'hora de fumigar que provoquen que, depenent de les variables de l'operació, una tecnologia sigui millor que una altra en aquest aspecte. Per tant, mentre el RPAS ofereix millor mobilitat i una velocitat més alta a l'hora de fumigar, el tractor i la fumigadora de barra té molta més capacitat i un ample de fumigació més elevat. Cal recalcar però, que la possibilitat de sincronitzar fins a 5 vehicles RPA amb un sol comandament, fa millorar en gran mesura la velocitat a l'hora de fumigar i és aquí on permet aconseguir un avantatge competitiu respecte l'altra tecnologia.

En quart lloc, mitjançant l'anàlisi en la inversió i en el preu del servei, s'ha pogut observar com el nou mètode plantejat requereix d'una forta inversió, en comparació amb el mètode tradicional. Aquest fet, sumat a que aporta una millora qualitativa important, fa que el preu del servei sigui més elevat que amb qualsevol dels mètodes tradicionals.

A més a més, l'anàlisi del sistema RPA ha permès conèixer també tant millores mediambientalment parlant com millores en la salut humana. Obtenint així un sistema que no només aporta més qualitat en el servei, sinó que també està més compromès amb el medi ambient, evitant la contaminació provocada pels productes fumigadors gràcies al seu sistema de dispersió i reduint en fins a un 90% l'aigua utilitzada en cada operació.

Concloent, un cop realitzada la comparació i l'anàlisi sobre tots els paràmetres, es podria dir que el sistema RPA ofereix un servei de fumigació d'alta qualitat, on aspectes com el gran sistema de distribució que té i la seva maniobrabilitat permeten aconseguir un gran avantatge competitiu. A més, altres aspectes com ara la capacitat d'anàlisi dels camps de conreu en temps real, així com la capacitat per evitar la pèrdua de la collita gràcies a aquesta anàlisi, fan d'aquest sistema una tecnologia exclusiva. Per tant, tot i que en alguns aspectes, com ara el preu, la tecnologia RPAS no aconsegueixi un avantatge respecte el mètode tradicional, el sistema RPA aporta més avantatges que el mètode tradicional, convertint-se així en una tecnologia emergent i molt eficient amb molt camí per recórrer.

Per una altra banda, s'ha pogut comprovar que la creació d'una empresa relacionada amb la fumigació té una viabilitat força alta ja que és un model de negoci difícilment imitable. Això és degut, principalment, a que per tal de realitzar l'operació amb RPAS es requereix de títols especialitzats, així com també de un *know-how* força important i difícilment adquirible degut a la desconexió que hi ha del món dels RPAS aplicat a l'agricultura. A més a més, la forta inversió que requereix la compra de tots els vehicles i objectes necessaris provoca també que el mercat dels drons aplicats a l'agricultura sigui un oligopoli a nivell espanyol, on només poques empreses són capaces de realitzar-ho i difícilment imitable pels agricultors, que es veuen obligats a subcontractar el servei davant la incapacitat de copiar-lo.

Un altre aspecte a recalcar és que al ser un servei subcontractat, a diferència del mètode tradicional que acostuma a fer-se per compte propi, suposa un estalvi total de temps per a l'agricultor, així com també una reducció de l'esforç físic, ja que només es requereix d'ell al principi de l'operació per tal de conèixer quin tipus de producte vol aplicar i com ho vol fer. Aquest fet, pot ser molt important i ser de gran ajuda per tal de promoure l'agricultura com a segon negoci o segona ocupació, ja que com s'acaba de comentar, mitjançant la subcontractació s'aconsegueix un estalvi total de temps. A més a més, això beneficia molt a les plantacions catalanes, on un 57% de la superfície agrícola està gestionada per professionals que tenen l'activitat agrícola com a segona ocupació. (50)

Finalment, cal tenir en compte, però, que uns dels grans problemes que envolta aquest nou sistema és la por al canvi per part dels agricultors ja que, acostumats a realitzar les coses d'una manera mitjançant el mètode tradicional, veuen aquest nou sistema com un aspecte molt desconegut i incapaç de realitzar tasques tant concretes com ara la fumigació de manera eficient. Tot i això, actualment ja s'està començant a realitzar a nivell espanyol aprofitant tots els avantatges que aporta aquest sistema.

10. Bibliografía

1. ¿QUÉ ES UN RPA? DIFERENCIA ENTRE DRON RPA RPAS UAV Y UAS [Internet]. [citado 16 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=TfpKqoYiZ8g&feature=emb_title
2. Montero J. Qué diferencias hay entre RPA, UAV, RPAS, UAS y dron [Internet]. [citado 8 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.todrone.com/diferencias-hay-entre-rpa-uav-rpas-uas-dron/>
3. ¿Cuáles son las partes de un dron? — DronProfesional [Internet]. [citado 17 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://dronprofesional.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-dron/>
4. Departamento de Telecomunicación e Ingeniería de Sistemas, Universitat Autònoma de Barcelona. INFORME SOBRE “ANÁLISIS Y PROPUESTA DE ESPECIFICACIONES PARA LA CAPTACIÓN DE DATOS GEOGRAFICOS CON RPAS”. 2016.
5. Todas las Partes de los Drones. Explicadas al Detalle - Esenziale [Internet]. [citado 17 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://esenziale.com/tecnologia/partes-drone/>
6. droning. ¿Qué Partes Componen un Drone Multirrotor? [Internet]. Droning. 2014 [citado 18 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://droningpage.wordpress.com/2014/10/19/que-partes-componen-un-drone-multirrotor/>
7. Triana I. Ingenio Triana Blog: Todo lo que necesitas saber sobre drones [Internet]. Ingenio Triana Blog. 2015 [citado 18 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://ingenio-triana.blogspot.com/2015/12/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-drones.html>
8. Historia de los drones [Internet]. El Drone. 2016 [citado 4 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
9. Baquero A. 10 momentos clave en la historia de los drones [Internet]. 2018 [citado 17 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia->

- contemporanea/20180705/47311066203/10-momentos-clave-en-la-historia-de-los-drones.html
10. Oliver E. ¿Conoces la historia de los drones? ¡Te la contamos! [Internet]. Digital Trends Español. 2018 [citado 4 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://es.digitaltrends.com/drones/la-historia-de-los-drones/>
 11. Fran. Aeronavegabilidad y Clasificación de Drones Drones y Rpas. Curso Piloto y Permisos. [Internet]. Mi Primer Drone | Hazte Operador de Drones | Asesoría y Consultoría. 2016 [citado 9 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.miprimerdron.com/aeronavegabilidad-y-clasificacion-drones/>
 12. Santana E. Tipos de drones - Conoce todos los tipos de drones que existen [Internet]. El mundo de los drones en tus manos. [citado 9 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/>
 13. AreaDron. El uso de Drones. Actualidad y FUTURO. [Internet]. areadron.com. 2017 [citado 10 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.areadron.com/el-uso-de-drones-actualidad-y-futuro/>
 14. Todo lo que deberías saber antes de volar tu dron [Internet]. One Air. 2020 [citado 20 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.oneair.es/normativa-drones-espana-aesa/>
 15. Drones-Trabajos aéreos-Compañías o empresas-AESA-Agencia Estatal de Seguridad Aérea [Internet]. [citado 20 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/cias_empresas/trabajos/rpas/default.aspx
 16. AESA y el Ministerio de Agricultura fiscalizan el uso de drones para fumigar [Internet]. AeroBCN. 2017 [citado 29 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.aerobcn.com/drones/7173-aesa-y-el-ministerio-de-agricultura-fiscalizan-el-uso-de-drones-para-fumigar/>
 17. MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA Y PARA LAS ADMINISTRACIONES TERRITORIALES. Real Decreto 1036/2017. 2017.

18. Fumigación, Definición, Tipos, Control, Prevención [Internet]. Ecologia. 2018 [citado 19 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://decologia.info/medio-ambiente/fumigacion/>
19. Cómo realizar labores de fumigación según el tipo de cultivo [Internet]. agricola. [citado 19 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.eduardono.com/agricola/blog/blog-detalles/como-realizar-labores-de-fumigacion-segun-el-tipo-de-cultivo>
20. Pulmátic S – AMP SPRAYERS [Internet]. [citado 24 de junio de 2020]. Disponible en: <https://ampsprayers.com/es/producto/pulmatic-s/>
21. NAVIGATOR – Trailed sprayer from HARDI [Internet]. [citado 24 de junio de 2020]. Disponible en: <https://hardi-international.com/sprayers/trailed/navigator>
22. RUBICON – Selfpropelled sprayer from HARDI [Internet]. [citado 24 de junio de 2020]. Disponible en: <https://hardi-international.com/sprayers/selfpropelled/rubicon>
23. La agricultura de precisión [Internet]. Qampo. [citado 23 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://qampo.es/la-agricultura-de-precision/>
24. El sector catalán de los drones [Internet]. gencat.cat. [citado 28 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://web.gencat.cat/es/actualitat/detall/El-sector-catala-dels-drons>
25. Estadístiques definitives de conreus [Internet]. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. [citado 15 de junio de 2020]. Disponible en: <http://agricultura.gencat.cat/ca/departament/estadistiques/agricultura/estadistiques-definitives-conreus/>
26. Unidad de medición inercial. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [Internet]. 2020 [citado 30 de marzo de 2020]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Unidad_de_medici%C3%B3n_inercial&oldid=124032776
27. DJI T16 Dron para Fumigar de 16L [Internet]. 2020. [citado 30 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.hobbytuxtla.com/drones-agricultores/dji-agras-t16/>

28. Agras T16 - Especificaciones, tutoriales y guías - DJI [Internet]. DJI Official. [citado 2 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.dji.com/es/t16/info>
29. Agras T16 - Agricultural Spraying Drone [Internet]. DJI Official. [citado 16 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.dji.com/es/t16>
30. DJI- Líder mundial en Drones/Cuadricópteros con cámara para Fotografía Aérea [Internet]. DJI Official. [citado 2 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.dji.com/es/phantom-4-rtk/info>
31. P4 Multispectral - Especificaciones, FAQ, manuales - DJI [Internet]. DJI Official. [citado 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.dji.com/es/p4-multispectral/specs>
32. P4 Multispectral - Información precisa de las plantas - DJI [Internet]. DJI Official. [citado 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.dji.com/es/p4-multispectral>
33. ¿Cámara NDVI o NDRE? Las diferencias más importantes para montar la cámara en tu drone [Internet]. Heliboss.cl. [citado 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://heliboss.cl/blog/noticias/drones-y-agricultura-camara-ndvi-o-ndre>
34. Phantom 4 Multiespectral: Beneficios para la agricultura de precisión [Internet]. Grupo Acre España. 2019 [citado 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://grupoacre.es/phantom-4-multiespectral-beneficios-para-la-agricultura-de-precision/>
35. Prueba de eficiencia Agras DJI MG 1P en español [Internet]. [citado 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=v-aAQAmXmJg>
36. Franquesa M. Todo sobre las medidas de ruedas de tractor [Internet]. Agroptima. 2016 [citado 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.agroptima.com/es/blog/todo-sobre-las-medidas-de-ruedas-de-tractor/>
37. Redacción. Castilla y León ha sido la autonomía con peores rendimientos del trigo por culpa de la sequía [Internet]. Agroinformacion. 2017 [citado 16 de abril de

- 2020]. Disponible en: <https://agroinformacion.com/castilla-y-leon-a-sido-la-autonomia-con-peores-rendimientos-del-trigo-por-culpa-de-la-sequia/>
38. DJI Agras MG1P Efficiency Test at Scorpion Drones, Drone Fumigador Agras MG-1pTest de eficiencia [Internet]. [citado 25 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=hcX38QRsMDM>
 39. DJI Agras T16 | Dron para fumigación aérea | ATyges ® [Internet]. ATyges. [citado 12 de junio de 2020]. Disponible en: <https://atyges.es/tienda/agras-t16/>
 40. □Dron agrario DJI Agras T16 | Tienda profesional de drones Madrid [Internet]. El vuelo del Drone. [citado 12 de junio de 2020]. Disponible en: <https://elvuelodeldrone.com/drones-profesionales/drones-para-agricultura/dron-agrario-dji-t16/>
 41. Dron agrario DJI AGRAS T16 KIT [Internet]. [citado 12 de junio de 2020]. Disponible en: <https://tienda.stockrc.com/DJI-AGRAS-T16>
 42. Nuevo Mercedes-Benz INDUSTRIALES Sprinter desde 23.286 euros [Internet]. [citado 12 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.mercedesocasion.com/nuevos/mercedes-benz-industriales/sprinter/68912?gclid=Cj0KCQjwz4z3BRCgARIsAES_OVcF3q2lFQp6IiWiphWdWVzLk2bcJVktLBUPRBErcd5QSVCMr2OZ_nAaAkAuEALw_wcB
 43. Portátil - Lenovo S340-15IIL, 15.6 " Full-HD, Intel® Core™ i7-1065G7, 8 GB DDR4, 1 TB SSD, W10 Home, Gris [Internet]. Media Markt. [citado 12 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.mediamarkt.es/es/product/_port%C3%A1til-lenovo-s340-15iil-15-6-full-hd-intel%C2%AE-core%E2%84%A2-i7-1065g7-8-gb-ddr4-1-tb-ssd-w10-home-gris-1477053.html
 44. Bombas de trasiego para vino y aceite en oferta - AgriEuro [Internet]. [citado 12 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.agrieuro.es/bombas-de-trasiego-c-107.html?highlight=1022&lgw_code=12150-1022&gclid=Cj0KCQjwz4z3BRCgARIsAES_OVfh1dSEyOxnMwV8hY02PPyIvu2rFEBH6pC5Td0QhJnHhKMpVOeddtEaAoXqEALw_wcB

45. Agropopular4. La agricultura «no tiene capacidad de pagar el alto precio del agua desalada» [Internet]. agropopular.com. 2017 [citado 4 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.agropopular.com/fidex-agua-301117/>
46. Impacto ambiental de los plaguicidas. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [Internet]. 2020 [citado 6 de abril de 2020]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Impacto_ambiental_de_los_plaguicidas&oldid=124805559
47. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud [Internet]. [citado 8 de abril de 2020]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010
48. Este equipo de RPAS puede sembrar 100.000 semillas en un día [Internet]. [citado 17 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.todrone.com/equipo-rpas-sembrar-100000-semillas-dia/>
49. H/Creada:25-06-2018 EMR| LR| MÚ actualización:25-06-2018 | 18:20. Semillas inteligentes y drones para plantar 25.000 árboles en un sólo día [Internet]. La Razón. 2018 [citado 17 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.larazon.es/atusalud/medioambiente/semillas-inteligentes-y-drones-para-plantar-25-000-arboles-en-un-solo-dia-MD18827946/>
50. Radiografía de les explotacions agrícoles de Catalunya 2019 [Internet]. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. [citado 25 de junio de 2020]. Disponible en: <http://agricultura.gencat.cat/ca/actualitat/reportatges/radiografia-explotacions-agricoles-catalunya-2019/>

LLUIS MEDIR LLORENS,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lluís Medir Llorens', written in a cursive style.

SABADELL, 2 DE JULIOL DE 2020